

# 미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

2019 AURI 건축도시포럼

7월 10일 수요일  
14:00-17:30  
페럼타워 페럼홀

주최 (auri) 건축도시공간연구소

주관 (auri) 건축도시공간연구소

국토교통부

행정중심복합도시건설청

후원

국립건축정책위원회

LH 한국토지주택공사



## 프 로 그 램

13:20-14:00 (40분)	참석자 등록	
14:00-14:10 (10분)	개회사	• 박소현   건축도시공간연구소 소장
14:10-15:50 (100분)	주제발표 1) 도시지역 미세먼지 현황과 해결을 위한 정책 방안	• 이승민   한국환경정책평가연구원 대기환경연구실 부연구위원
	주제발표 2) 미세먼지 저감 및 확산을 위한 도시 바람길 도입 방안	• 박종순   국토연구원 국토환경· 자원연구본부 연구위원
	주제발표 3) 미세먼지 양상을 고려한 생활공간의 미래지향적 대응	• 이은석   건축도시공간연구소 스마트·녹색연구단 부연구위원
	주제발표 4) 실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망	• 이병희   LH 토지주택연구원 책임연구원
15:50-16:10 (20분)	휴식 및 정리	
16:10-17:30 (80분)	종합토론 미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경의 역할	좌장 • 여명석   서울대학교 건축학과 교수
		토론 • 김태오   국토교통부 녹색건축과 과장 • 안승홍   환경대학교 조경학과 교수 • 오성훈   건축도시공간연구소 도시·설계연구단 선임연구위원 • 채수미   한국보건사회연구원 보건정책연구실 부연구위원 • 최형욱   행정중심복합도시건설청 도시정책과 과장
17:30-17:40 (10분)	폐 회	





## CONTENTS

주제발표

1

### 도시지역 미세먼지 현황과 해결을 위한 정책 방안 ..... 1

발표 이승민 / 한국환경정책평가연구원 대기환경연구실 부연구위원

주제발표

2

### 미세먼지 저감 및 확산을 위한 도시 바람길 도입 방안 ..... 17

발표 박종순 / 국토연구원 국토환경·자원연구본부 연구위원

주제발표

3

### 미세먼지 양상을 고려한 생활공간의 미래지향적 대응 ..... 45

발표 이은석 / 건축도시공간연구소 스마트·녹색연구단 부연구위원

주제발표

4

### 실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망 .. 57

발표 이병희 / LH 토지주택연구원 책임연구원



미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

주제발표

1

# 도시지역 미세먼지 현황과 해결을 위한 정책 방안

● 이 승 민 (한국환경정책평가연구원 대기환경연구실 부연구위원)





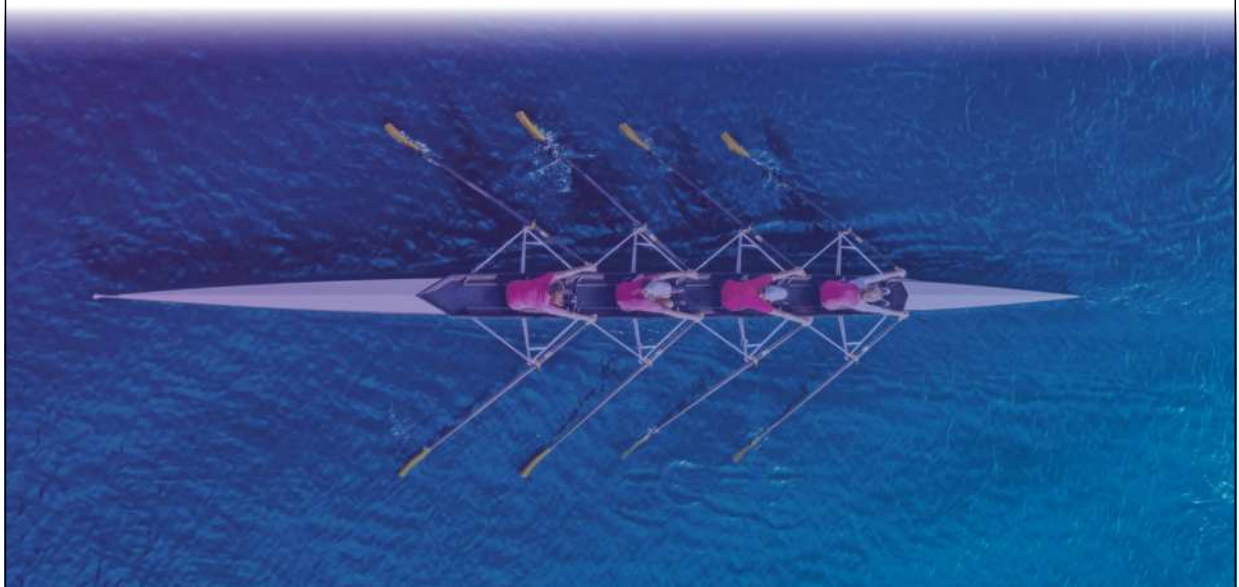
# 도시지역 미세먼지 현황과 해결을 위한 정책 방안

2019. 7. 10.

한국환경정책·평가연구원 대기환경연구실 이승민

**KEI**<sup>9</sup> 한국환경정책·평가연구원  
Korea Environment Institute

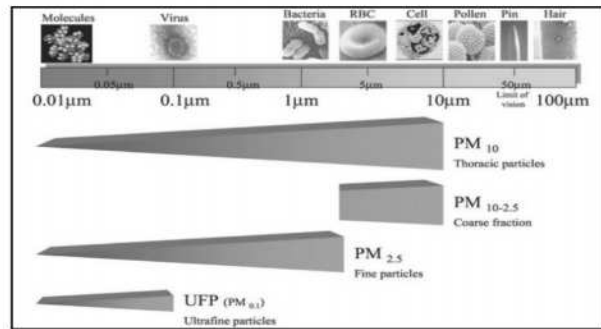
## 미세먼지 개념





## 미세먼지 개념

### ○ 미세먼지의 크기



출처 : Brook et al., 2004

- 공기 중에 떠다니는 입자상 물질
- 입자의 크기에 따라 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>로 구분
- 10/1000 mm보다 작은 입자는 PM<sub>10</sub>, 2.5/1000 mm 보다 작은 입자는 PM<sub>2.5</sub>
- 머리카락 굵기의 1/20~1/30 수준, 초미세먼지는 세포와 적혈구보다 작음

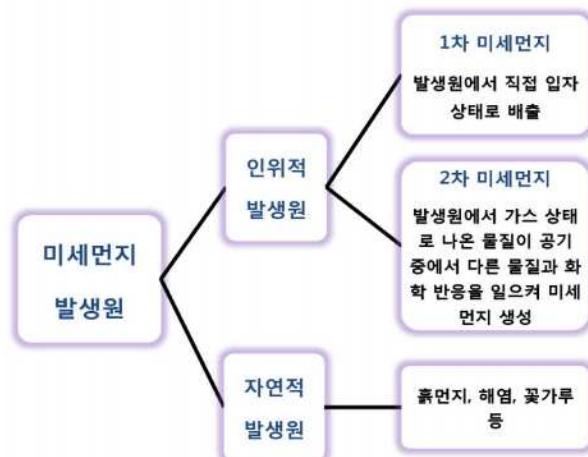
## 미세먼지 발생원

### ○ 미세먼지의 성분



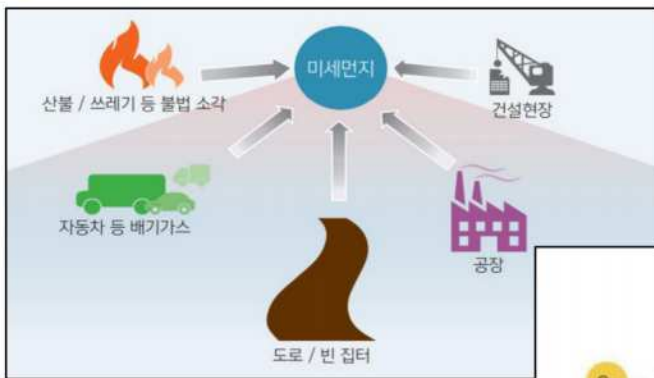
- 발생 지역, 발생 시기, 기상조건, 발생원에 따라 달라질 수 있음
- 대기오염물질이 공기 중에서 반응하여 생긴 황산염, 질산염 등, 화석연료 연소 과정에서 발생하는 탄소류와 검댕, 지표면 흙먼지 등에서 생기는 광물 등으로 구성

### ○ 미세먼지의 발생원 분류



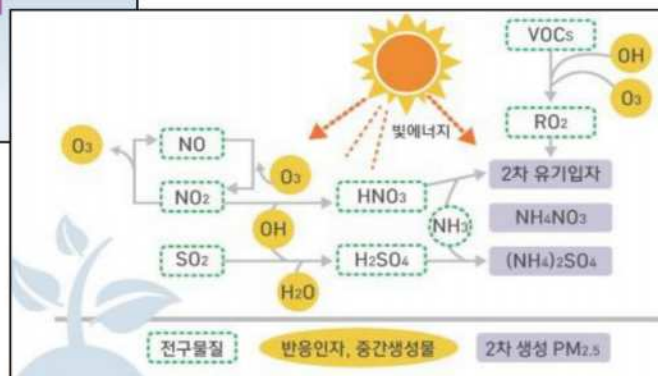
## 미세먼지 발생원

### ○ 다양한 미세먼지 발생원



출처 : 환경부(2017)

### ○ 2차 미세먼지 생성과정



## 미세먼지의 건강 영향



### 미세먼지로 인해 발생 가능한 질병



출처 : 환경부(2017)

- 미세먼지는 입자의 크기가 매우 작아서 코와 기관지에서 걸러지지 않고 인체 깊숙이 침투
- 폐까지 침투한 미세먼지는 천식과 폐질환의 원인이 되고, 폐포를 통해 혈관에 침투하여 이를 제거하기 위한 염증 반응으로 혈관 손상을 일으켜 각종 심혈관 질환 유발 가능



### IARC 발암물질 분류

- 2013년 10월, 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 1군 발암물질로 분류

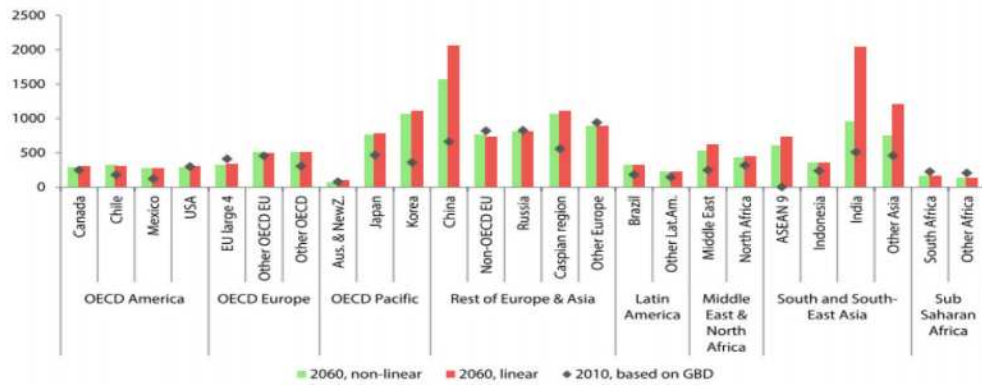
국제암연구소(IARC)에 따른 발암물질 분류		
구분	주요 내용	예시
1군(Group 1)	인간에서 발암성이 있는 것으로 확인된 물질	석면, 벤젠, 미세먼지
2A군(Group 2A)	인간에서 발암성이 있을 가능성이 높은 물질	DDT, 무기납화합물
2B군(Group 2B)	인간에서 발암성이 있을 가능성이 있는 물질	가솔린, 코발트
3군(Group 3)	발암성이 불확실하여 인간에서 발암성이 있는지 분류하는 것이 가능하지 않은 물질	페놀, 플루엔
4군(Group 4)	인간에서 발암성이 없을 가능성이 높은 물질	카프로락탐

출처 : 환경부(2019)



## 미세먼지로 인한 사회적 손실

### ○ 대기오염에 의한 조기 사망자 수(OECD, 2016)



- 우리나라 대기오염으로 인한 조기 사망자수 전망 :  
2010년 100만 명당 359명 -> 2060년 100만 명당 1,109명
- 경제적 손실은 OECD 회원국 중 최대인 GDP의 0.63%을 전망  
(미국 0.21%, EU 주요 4개국 0.11%, 일본 0.42%)

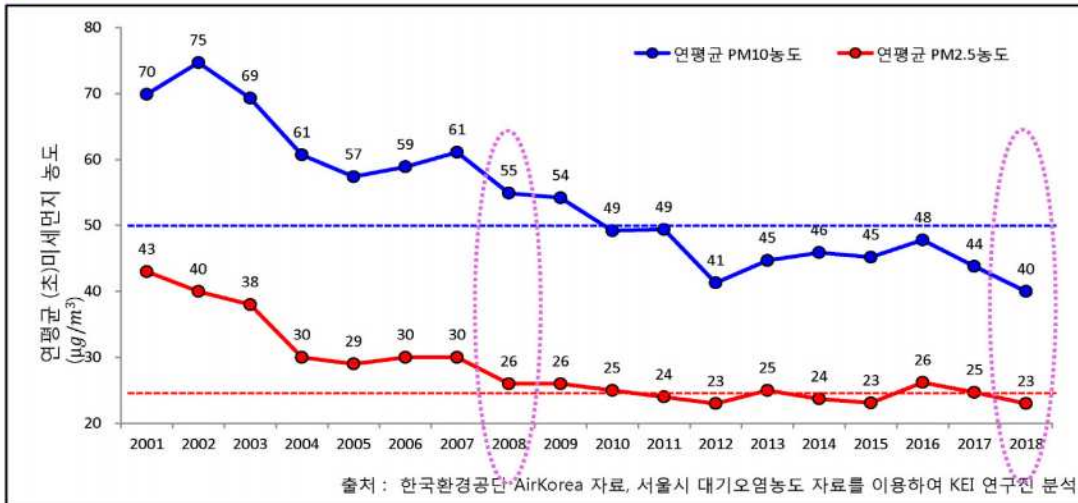
## 미세먼지 농도 현황





## 미세먼지 농도 현황 - 서울시

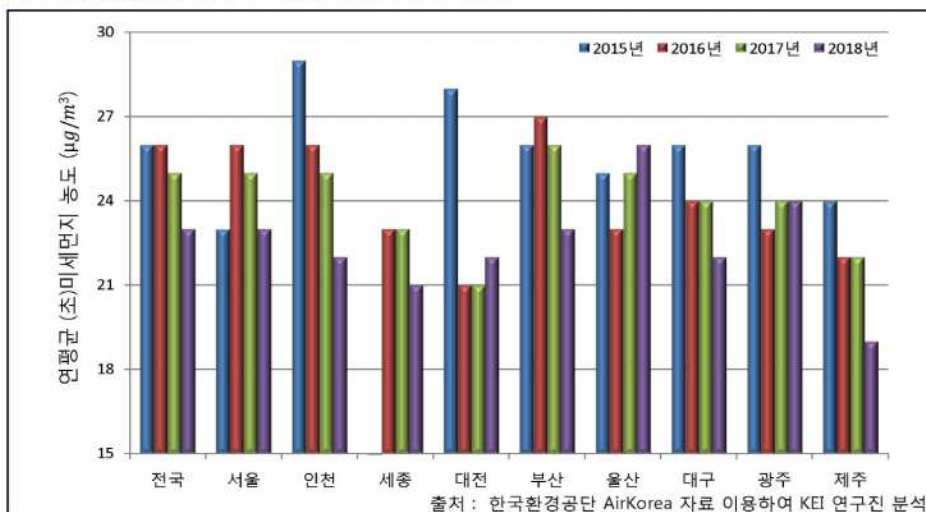
### □ 서울시 대기오염물질 배출량과 미세먼지 농도의 장기간 변화 추이



- 미세먼지 농도의 최근 변화에 대해서는 논란이 있으나, 최근 3년만 보면 감소 추세
- 2010년대 이후  $\text{PM}_{10}$  농도는 대기환경기준 만족하는 수준
- $\text{PM}_{2.5}$ 는 최근 변경된 기준('18. 3.  $25 \rightarrow 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  로 강화)을 만족하지 못하고 있음

## 미세먼지 농도 현황 - 전국

### □ 최근 4년간 전국 주요 도시별 미세먼지농도 변화



- 최근 4년간 주요 광역시별 연평균 초미세먼지 농도 변화를 보면, 울산 제외한 대부분의 도시에서 감소 추이 나타남
- 특히 인천, 대전 등의 도시에서는 감소 경향 매우 뚜렷

## 미세먼지 예보일수 현황

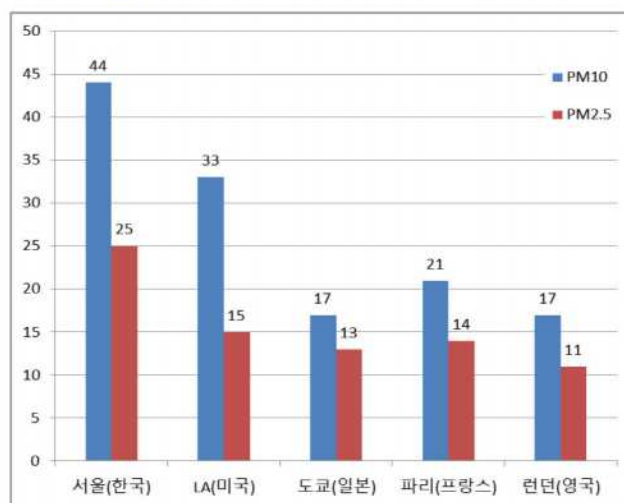
### □ 최근 3년간 서울시 초미세먼지 예보일수 변화



- '18년 3월 강화된 초미세먼지 예보기준 적용으로 인해 국민 체감도가 낮긴 하나, 실제로는 농도 및 예보일수(좋음·나쁨일수) 등의 개선 성과
- 그러나 전반적으로 대기질이 개선되었다 하더라도, 미세먼지 주의보·경보가 발령되는 비상시적 고농도 이벤트가 발생할 수 있어 이에 대한 세심한 관리 필요

## 미세먼지 농도, 외국 도시와 비교해 보면?

### ○ 2017년 국내외 주요 도시 미세먼지 농도

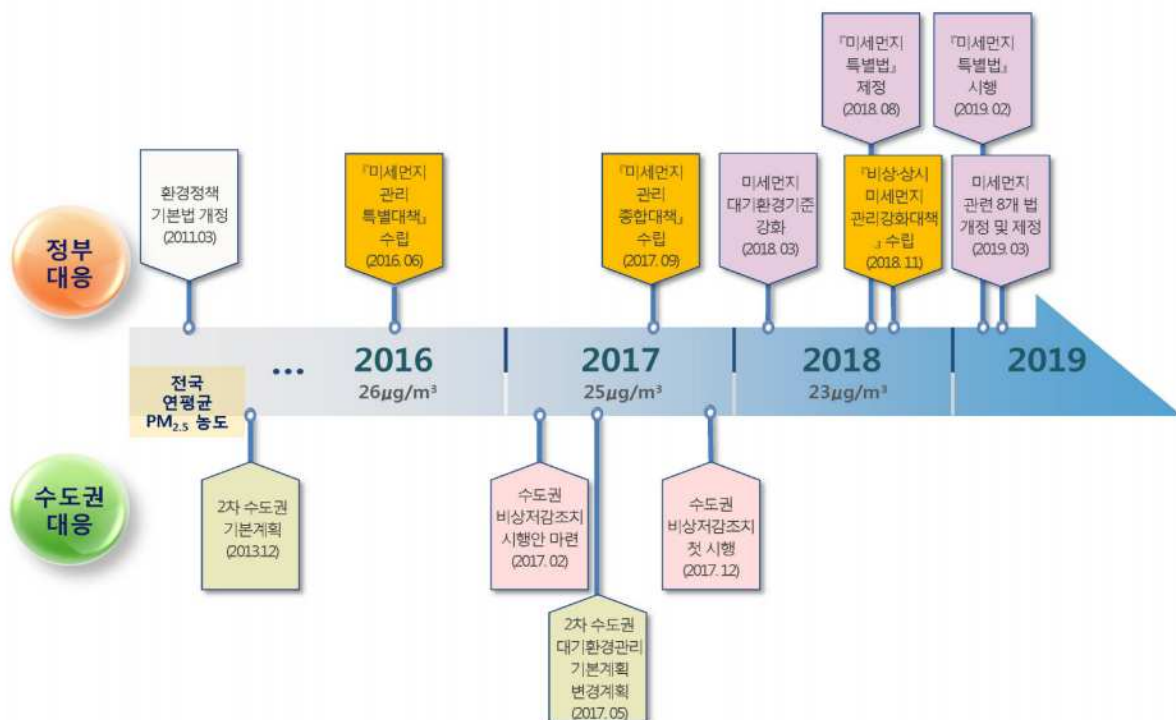


- 우리나라 미세먼지 농도는 과거에 비해 상당히 개선되었으나, 국외 주요 대도시들과 비교했을 때 여전히 높은 수준

## 미세먼지 대책 현황



### 관련 정책 추진 경과





## 미세먼지 관리 종합대책 ('17.9.26)

분야	중점 추진과제
국내 배출 감축	① 발전부문 ① 노후 석탄발전 폐지 등 석탄발전 비중 축소 ② 발전용 에너지 효율개선 조정 검토 ③ 친환경적 제8차 전력수급계획 수립 ④ 재생에너지 보급 확대
	② 산업부문 ⑤ 중량관리 대상지역 확대 및 먼지총량제 실시 ⑥ 철소산업을 배출부과금 신설
	③ 수송부문 ⑦ 노후 경유차 자금지원 및 운행제한 확대 ⑧ LPG차, 전기차 등 친환경차 보급 확대 ⑨ 친환경차별액금 제도 시행 ⑩ 선박건설키로 미세먼지 관리 강화
	④ 생활부문 ⑪ 공사장 불법소각 등 관리 사각지대 집중 관리 ⑫ 도로청소차 보급 및 도시 숲 확대
국제 협력	⑬ 한중, 동아시아 미세먼지 협력 ⑭ 한중 정상회담을 통한 공동선언문 발표 추진 ⑮ 동아시아 미세먼지 자갈 협력 체결 검토
민감 계층 보호	⑯ 어린이를 위한 실내기준 마련 ⑰ 어린이집, 학교 주변 미세먼지 측정망 우선 설치 ⑱ 학교 실내 쾌적시설 확대 ⑲ 민감계층 대상 찾아가는 케어서비스
정책 기반	⑳ 환경위성 등 활용한 측정 및 예경보시스템 강화 ㉑ 미세먼지 국가전략 프로젝트(P60) 추진

비전	맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국
목표	2022년까지 국내 배출량 30% 감축 * 나쁨 이상 일수(전국) : '16년 258일 → '22년 78일 PM <sub>2.5</sub> 오염도(서울) : '16년 26 $\mu$ g/m <sup>3</sup> → '22년 18 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
추진 전략	◇ 대규모 배출원 집중 저감을 통한 감축목표 달성 ◇ 주변국과의 환경협력 강화로 동북아 대기질 개선 ◇ 민감계층 집중보호로 국민 건강피해 예방 ◇ 과학적인 연구기관 강화로 미세먼지 대응역량 제고

출처 : 미세먼지 관리 종합대책(관계부처 합동, 2017)

- 2022년까지 국내 배출량 30% 감축으로 PM<sub>2.5</sub> 농도 30% 감소 목표
- 대규모 배출원에 대한 집중 저감 및 민감계층 집중보호

## 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책 ('18.11.8)

기 준	변 경
<b>고농도 미세먼지 비상저감</b> ◆ 참여대상 - 공공부문 중심 ◆ 조치사항 - (수송) 차량2부제 - (생활) 옥외배출원 저감 의무 - (발전) 제8차 전력수급계획 제1차년도 ◆ 발령요건 - 오존(실측) 내일(예보) 50 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 초과	<b>비상·상시</b> ◆ 참여대상 - 민간 의무참여 확대('19.1.15~)' ◆ 조치사항 - (수송) 배출가스등급 운행제한 강화 - (생활) 자취사 등 미세먼지 집중방지 - (발전) 석탄발전 상온제약 등 - (발전) 주유비(75 $\mu$ g/m <sup>3</sup> ) 시 제1차년도 ◆ 발령요건 - ① 오존 주일(75 $\mu$ g/m <sup>3</sup> ) 이상 2시간 + 내일 50 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 초과 - ② 내일 75 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 초과 + ①~②를 합쳐 고농도 비상저감령 발령 ◆ 공공기관 예비저감조치 강화
<b>미세먼지 상시저감</b> ◆ 경유차 대책 - 공공 친환경차 의무구매 50%~70% - 수도권 노후경유차 운행제한 - 경유승용차 의무 조기폐차 보조금 ◆ 선박·항만 - 선박유류 환류 3.5% - 하역장비 친환경연료 전환(경유→LNG) ◆ 발전 - 유연탄→LNG 교체 (1.2.5) - 환경규제비용에 맞춰비용한 반영 - 노후 석탄발전 폐쇄·가동중지 ◆ 생활/사업장 - 수도권·강원권 저농도보유 지원 - LPG 시설 배출기준 80~150ppm - 대형사업장 의무 굴뚝감시 ◆ 컨트론타워 - 국무조정실 중심 정책조정 - 환경부 중심 실무대응 ◆ 원인규명 연구 - 국립환경과학원 중심 ◆ 국제협력 - 한중 환경협력센터를 거점으로 연구·기술협력 사업 추진('18.6~)	<b>상시</b> ◆ 경유차 대책 - 공공 친환경차 의무구매 100% 강화 - 수도권 외 지역으로 확대 - LPG 1톤 화물차 신차구매 보조금 - 중·대형차 폐차보조금 현실화 ◆ 선박·항만 - 0.5%일(연간) 0.1%배출규제(연간) - 연료 전환 의무화 ◆ 발전 - 유연탄→LNG 교체 (2.1.5) - 환경규제비용에 맞춰비용한 반영 - 배출량 기반 가동중지 ◆ 생활/사업장 - 저농도보유 지원 전국으로 확대 - 배출기준 40~60ppm 강화 - 소규모 사업장 방지시설 개선 지원 ◆ 컨트론타워 - 민간 합동 미세먼지특별위원회 - 범부처 미세먼지 개선기획단 설치 ◆ 원인규명 연구 - 국가미세먼지정보센터 설립 ◆ 국제협력 - 동북아청정대기파트너십 다자간 협력 강화('18.11~)' - 남북협력 추진

< 부문별 감축률 및 주요대책(총 35.8% 감축) >

부 문	기준배출량 (톤, 2014기준)	9.26 대책 후 (기준대비 △30.5%)			추가대책 후 (기준대비 △35.8%)			전제 기준 감축비율 (%)
		감축량 (톤)	감축률 (%)	배출량 (톤)	추가 감축량 (톤)	추가 감축률 (%)	최종 배출량 (톤)	
합 계	324,109 (100%)	△98,740	△30.5	225,369 (100%)	△17,375	△5.4%	207,994 (100%)	116,115 (△35.8%)
발전	49,350 (15.2%)	△9,885	△20.5	39,465 (18%)	△1,796	△3.6%	37,669 (18%)	11,881 (△3.8%)
산업	123,284 (38.0%)	△52,791	△42.8	70,493 (57%)	△9,809	△7.8%	60,684 (29%)	62,400 (△19.3%)
수송	90,361 (27.9%)	△27,177	△30.0	63,184 (28%)	△5,282	△5.8%	57,901 (28%)	32,300 (△10.0%)
생활	61,114 (18.9%)	△8,987	△14.7	52,127 (23%)	△688	△1.1%	51,439 (25%)	9,575 (△13.0%)

출처 : 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(관계부처 합동, 2018)

- 9.26 대책에 비해 부문별 감축 목표 강화 : 30% -> 35.8%
- 상시적 저감 외에 고농도 이벤트에 대한 대응책 마련

출처 : 관계부처 합동(2018)



## 미세먼지 관련법 제·개정



## 미세먼지 특별법 ('18.8 제정, '19.2 시행)

내용		내용	
제1조	특별법의 목적	제17조	'국가미세먼지정보센터' 설치 및 운영
제2조	관련 용어 정의	제18~20조	고농도 미세먼지 비상저감조치 내용, 해제, 결과 보고 등
제3~5조	국가와 지자체, 사업자, 국민의 책무	제21조	배출시설 가동조정
제6조	타 법률과의 관계	제22조	미세먼지 집중관리구역 지정
제7~9조	'미세먼지관리 종합계획'과 이에 따른 시행계획의 수립 및 추진실적보고서 제출	제23조	취약계층 보호
제10~11조	'미세먼지특별대책위원회'의 설치 및 구성	제24~25조	미세먼지 간이측정기 성능 인증 및 취소
제12조	'미세먼지개선기획단' 설치	제26조	사업자의 자료제출·검사
제13조	미세먼지 배출 실태 조사 실시	제27~28조	미세먼지 간이측정기 성능 인증 수수료 및 인증 취소 관련 청문
제14조	미세먼지 관련 국제협력	제29조	환경부장관의 권한 위임 및 위탁
제15조	장거리이동 미세먼지 배출원 현황 파악	제30조	벌칙 적용에서의 공무원 의제
제16조	미세먼지 관련 연구개발	제31조	과태료



## 미세먼지 대응 조직 신설

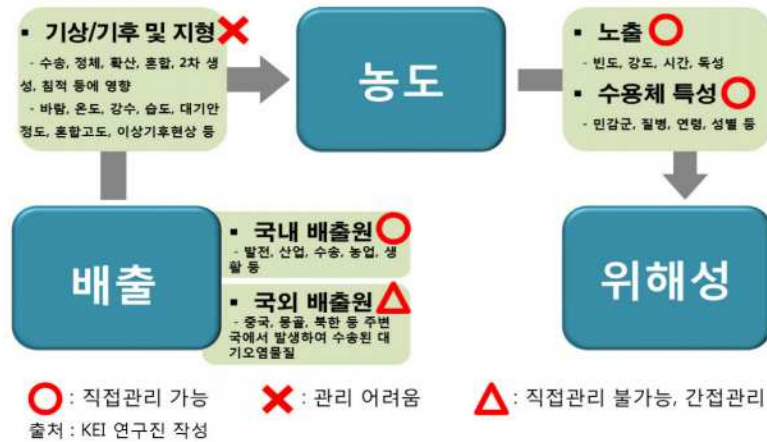


## 미세먼지 대책 개선점



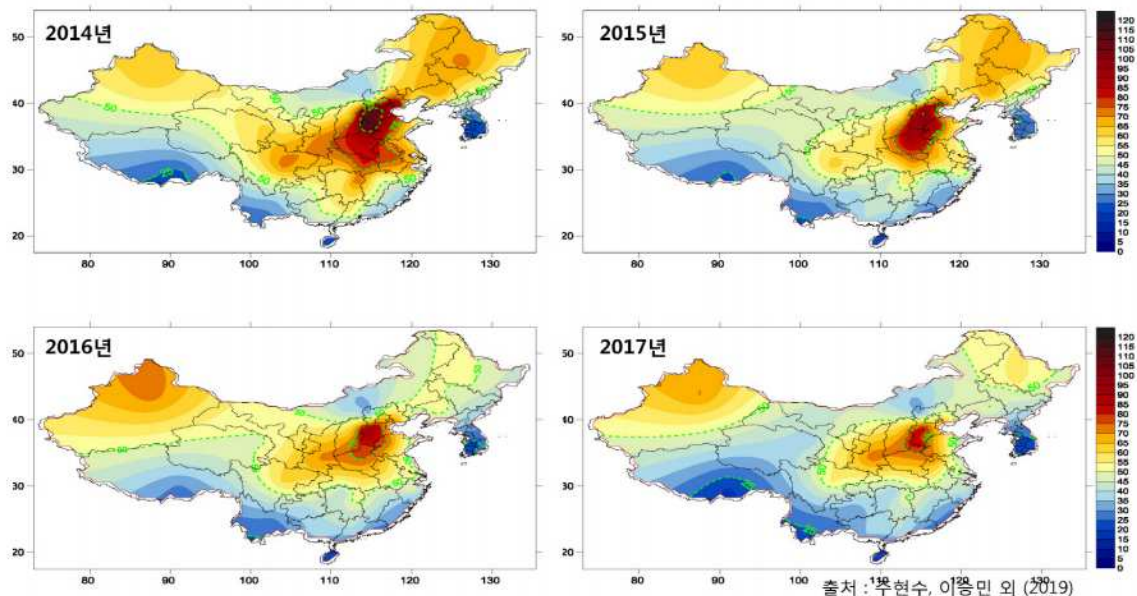


## 미세먼지 관리 정책, 왜 국내 배출원에 주력할까?



- 국민들은 국외 배출원에 대한 관리를 요구하고 있으나, 국외 배출원은 직접 관리(국내법에 의한 배출 규제)가 어려움. 외교적 협력과 기술 지원 등 간접적인 방식으로만 관리 가능
- 기상 조건과 지형 등은 인위적인 관리가 거의 불가능(인공강우 등의 대책이 있으나, 현재 기술 수준이 매우 낮고 효과도 제대로 검증된 바 없음)하지만, 고농도 이벤트 발생에 매우 큰 기여
- 국내 배출원과 위해성 관련 요소(노출 및 수용체 특성)만이 직접 관리 가능

## 중국 미세먼지 농도, 어떨까?



- 중국 내에서는 농도 높은 징진지 지역의 대기질 개선 추이 확인할 수 있음
- 국내 저감 노력까지 추가된다면 미세먼지 문제가 빠르게 개선될 것으로 추정



## 미세먼지 관리 사각지대 - 소규모 사업장

- ❑ 배출가스 원격감시장치(TMS) 설치 사업장은 전체 사업장 중 1%에 불과
- ❑ TMS 설치되지 않은 사업장의 대기오염물질 배출량 비중은 55%
- ❑ 단위 배출량은 적으나 전체 중소사업장 수(4, 5종) 크게 증가
- ❑ 중소사업장 배출에 대한 직접 감시 및 관리가 어렵고 배출정보에 대한 불확실성이 증대

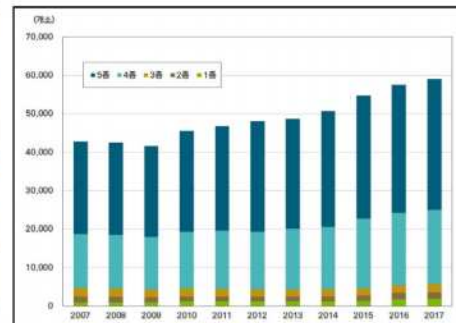
a) TMS 부착 사업장 비율



b) 소규모 사업장 배출 실태



c) 연도별 대기배출사업장 증가 추이



자료: a) 미세먼지 잡는 '매의 눈' 설치한 사업장 조사해보니... (동아일보, 2019.3.14)  
 b) 드론 띄워 단속했더니...미세먼지 농도 하루 세 절반으로 '뚝', (동아일보, 2018.5.14)  
 c) 환경부대기오염물질 배출시설 및 굴뚝TMS 부착사업장 배출량 현황, (환경부, 2017)

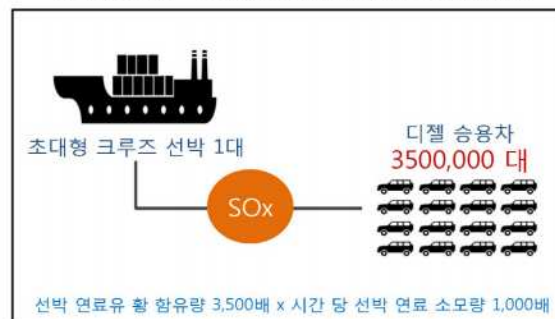
## 미세먼지 관리 사각지대 - 선박 및 항만 도시

- ❑ 항구에 인접한 주요 도시의 경우, 선박에서 배출되는 초미세먼지의 배출 비중이 매우 높음
- ❑ 초대형 크루즈 선박 1대에서 배출되는 이산화황은 디젤 승용차 3천5백만 대에서 배출되는 양에 해당
- ❑ 「항만 지역 대기질 개선 특별법」 통과(2019.3), 환경부-해수부 업무 협약 체결 등으로 항만 지역 대기질 관리를 위한 토대는 마련되었으나, 향후 세부 규정과 실효성 있는 관리 대책 마련 필요

a) 주요 항만지역 PM<sub>2.5</sub> 배출량 및 배출 비중(2014년 기준)

항만 지역	PM <sub>2.5</sub> 배출량(t)	배출 비중(%)
부산광역시	950.8	51.4
인천광역시	203.6	14.1
울산광역시	454.1	18.7
경기 평택시	140.2	31.6
경기 시흥시	152.8	49.3
충남 서산시	128.8	49.1
전남 목포시	56.4	59.3
전남 여수시	40.2	40.2
경남 창원시	157.9	31.8
경남 거제시	79.9	42.7
경남 통영시	21.3	35.4

b) 초대형 크루즈 선박과 디젤차량 오염물질 배출량 비교



자료: a) 국가 대기오염물질 배출량 통계 (국립환경과학원, 2014)  
 b) 항만도시 미세먼지 대책 수립 시급 (한국해양수산개발원, 2017, p.9~10)







미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

주제발표

2

# 미세먼지 저감 및 확산을 위한 도시 바람길 도입 방안

● 박 종 순 (국토연구원 국토환경·자원연구본부 연구위원)







# 미세먼지 저감 및 확산을 위한 바람길 도입 방안



박종순

jspark@krihs.re.kr

2019. 7. 10(수)

## 목차

미세먼지 저감 및 확산을 위한 바람길 도입 방안

- 1 미세먼지, 무엇이 문제인가
- 2 대책은 있는가
- 3 바람길은 효과가 있는가
- 4 사례지역(세종시) 바람길의 모의 실험
- 5 공간계획에 바람길이 적용되고 있는가
- 6 바람길을 도입하기 위해서는



# 01 미세먼지, 무엇이 문제인가?



## 국내 미세먼지 현황

KRIHS 국토연구원

연이은 미세먼지 경보, 2013년부터 미세먼지 PM10 농도는 악화 또는 정체 수준

세계보건기구(WHO) 기준( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 우리나라의 미세먼지 농도는 현저히 높은 수준

[대한민국 미세먼지 농도(대기환경 기준 대비)]



주: 2018년은 1~8월까지의 현황임

출처: 한겨레(2019.1.21) 중국 "한국, 남 탓만 하다간 미세먼지 줄일 기회 놓쳐"  
연합뉴스(2019.2.1.) 지난달 서울 초미세먼지, 2015년 관측 이래 "1월 최악"  
통계청, 미세먼지 월별 도시별 대기오염도



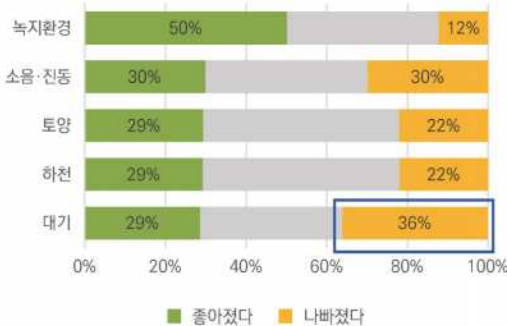
## 미세먼지란?

KRIHS 국토연구원

## 1급 발암물질, 조기사망과 생산활동 제약의 원인

초미세먼지(PM2.5), 2015년 연평균 24.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 노출되어 1만1924명이 조기사망

## 2018 체감 환경



출처: 통계청(2018) 2018년 사회조사 결과  
 KBS(2018) 초미세먼지로 1년에 만천여명 조기 사망  
 메디게이트뉴스(2018.5.16) 미세먼지로 인해 호흡기 질환 ↑, 만성폐쇄성폐질환은 2초에1명 사망  
 인지원(2019) 미세먼지에 대한 국민 인식 조사, 현대경제연구원  
 KFI(2018) 주요 국가산업단지 운영으로 인한 PM2.5 기어농도 및 조기 사망자 수 산정, 환경모니터

## 미세먼지 주의보 및 경보 약 200% 증가

2018년 1월1일~4월 26일까지의 발생 횟수는 425회  
 전년동기 148회보다 187% 증가

## 미세먼지로 인한 경제적 비용 추정

미세먼지 주의보 발령 1일당 손해 비용	전국 평균 미세먼지 주의보 발령일수	총 체감 생산 제약액	전체 GDP 대비 비율
1,586억 원	25.4일	4조230억 원	0.2%

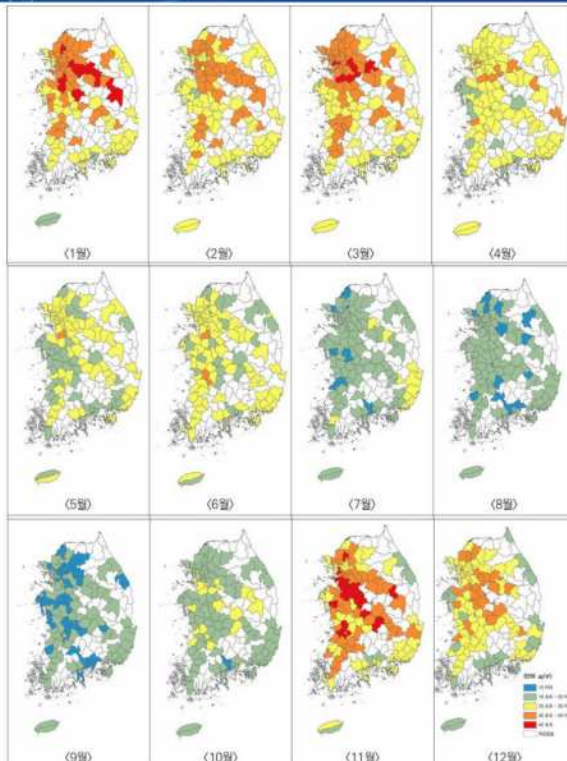
## 연평균 PM2.5가중 농도로 인한 연간 국내 조기 사망자 수

시화·반월 국가산업단지	대산석유화학단지	대기보전 특별 대책지역	화력발전소
116명	446명	910명	994명

5

## 미세먼지(PM2.5)의 국토공간 분포 특성(2018년)

KRIHS 국토연구원



## 서고동저(西高東低)

- 산업·경제) 서해 연안 인근 다수의 화력발전소 및 산업단지(배출원) 입지
- 지형) 태백산맥 등 지형적 요인에 의해 미세먼지 확산 지연(영서지역) > 영동지역)

## 수도권 &gt; 비수도권

- 에너지 및 산업 연소, 교통량, 비산먼지 등이 기여

## 겨울·봄철 &gt; 여름철

- 기상) 북풍, 북서풍, 편서풍이 탁월한 겨울철·봄철 중국 등 주변국에서 유입

보다 면밀하고, 정교한 분석 필요

\* 참고 : 지도의 범례는 2018년 12월 지도와 동일  
 \* 출처 : 국토연구원(2019) 월간국토 2019년 6월호

6



## 02 대책은 있는가



### 배출원의 배출량 관리(환경정책)

KRIHS 국토연구원

#### 국내 배출원 관리, 국제 협력, 미세먼지 특별법 시행 등

미세먼지 배출원 관리 등 배출 감소에 초점을 둔 사후대책

- 국내 배출원 관리: 비상저감조치 발령, 공단지역 불법행위 단속, 농촌지역 불법소각 단속 등  
노후 경유차 운행 제한, 차량 2부제, 노후화력발전소 조기 폐쇄, 인공강우 실험 등
- 국제 협력: 비상저감 조치 공동 시행, 인공강우 기술 교류 등
- 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 시행(2019.2.15. 시행)

비상저감조치	고농도 미세먼지가 예상될 경우, 시도지사는 자동차 운행 제한 배출시설 가동시간 변경, 휴업 권고 등 시행(민간에도 적용)
미세먼지 간이 측정기 인증	성능인증제 시행으로 등급 부여, 미인증제품 제작 및 수입 금지
미세먼지관리 종합계획	정부는 5년마다 종합계획 수립, 시도지사는 구체적 시행계획 수립
미세먼지 특별대책위원회	국무총리 및 민간인 2명을 공동위원장으로 하는 총리직속 위원회 설치, 종합계획 및 시행계획 심의
국가미세먼지 정보센터	미세먼지 배출량 정보 수집 민 분석, 정책효과 분석
과태료 기준	비상저감조치, (배출시설 및 공사장) 미이행 및 간이측정기 성능인증 자료 제출 위반시 200만원, 비상저감조치 운행제한 미이행 시 10만원 이하 부과

자료: 환경부(2019) 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법

8



## 국토공간 특성 반영(국토정책)

KRIHS 국토연구원

## 미세먼지 저감을 유리한 국토공간 조성

배출원 입지 선정 검토 및 대기 순환을 위한 공간 조성

## 국토 차원

- 미세먼지 배출원 입지 선정 단계에서 영향성 검토
  - 계절별 탁월풍, 동고서저의 지형, 대도시 인구 집중 등을 고려
  - 화력발전소, 산업단지 등의 미세먼지 배출원의 입지 선정

## 광역 및 도시 차원

- 내륙도시) 산줄기에서 생성된 공기를 도시 내부로 유도
  - 도시와 도시의 지역의 비열차를 활용한 바람길 생성
- 연안도시) 해풍을 도심으로 유도

## 지구단위 혹은 블록 단위

- 대기 순환이 원활하도록 적절한 층고 및 동간 배치 계획 수립
  - 주 통로 및 보조통로 설정
  - 대기 순환을 고려한 건축물 계획수립

## 바람길

도시 외곽 산림에서 생성되는 맑고 차가운 공기를 도심으로 끌어들이 공기순환을 촉진, 미세먼지 등 대기오염물질과 뜨거운 열기를 도시 외부로 배출하는 길

Kress(1979)가 처음 사용한 Ventilationbahn이라는 독일어에 유래

9

## 환경 및 국토정책의 융합 필요성

KRIHS 국토연구원

## 경제적 효율성(高) + 현실적인 대안

## 배출원 관리 및 피해 예방에 대한 투자 금액 증가

- 2018년(약 6,900억 원) → 2019년(약 8,800억)

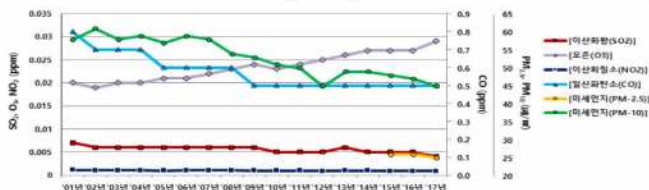
## 2012년 이후 미세먼지 농도 정책 수준

- 미세먼지를 추가적으로 감축시키는 데 발생하는 비용 증가(한계 비용 증가)

## 현실적인 대안은?

- 중국 등 주변국에서 유입되는 미세먼지를 완전히 제어하기는 힘들
- 한반도 대기정체는 자연현상으로 제어하기 힘들

⇒ 도시 내 공간구조를 개선하여 미세먼지 확산 및 저감 (경제성이 높은 현실적인 대안)



배출량 감소 + α(미세먼지 저감·확산에 유리한 국토 및 도시공간 만들기)  
- 미세먼지 저감 정책의 실효성 제고

10



## 03 바람길은 효과가 있는가



### 사례1: 독일

KRIHS 국토연구원

#### 연방건축법에 바람길 조성과 활용에 관한 법적 근거 마련

찬바람생성지역의 보호, 생성된 찬바람이 도시지역으로 원활하게 유입할 수 있는 토지이용 유도 등

##### 찬바람 발생가능 지역

- ① 농경지(특히 밭작물) 및 초원지역으로 구릉지 형태의 부지
- ② 찬바람 통행구와 연결되어 있고, 찬바람 통행구보다 높은 위치에 있는 부지 중 면적이 최소 5만㎡ 이상

##### 찬바람 통행구

- ① 찬바람 발생지역과 연결된 부지
- ② 찬바람 발생지역보다 낮은 위치에 있는 하천, 저지대, 협곡 등과 유사한 지형을 가진 지역
- ③ 경사도가 1도 이상인 지역 및 최소 경사길이 50m 이상 등

##### 찬바람 정체구간의 해소

##### 바람길 연결 녹지축 조성

##### 찬바람 유동 및 통행을 고려한 건축물 배치 등

토지이용계획에 반영

12

## 사례1: 독일 슈트트가르트(Stuttgart)

KRIHS 국토연구원

### 기후지도를 반영한 도시계획, 열악한 공기순환 극복

바람길을 도시계획에 반영한 사례로 가장 많이 인용되는 지역



Stuttgart시 (독일의 바덴뷔르템베르크주에 위치)  
인구 59만 명(독일에서 6번째로 큰 도시), 면적 207km<sup>2</sup>

- 독일 남부의 대표적인 산업 도시
- 높은 협곡에 위치, 분지 지형 위치
- 도시의 평균 풍속(2m/sec), 대기오염 정체
- 1970년 대 : 바람길 조성
- 시간마다 1억 9,000m<sup>3</sup>의 신선한 공기를 도심부 유입 성공

#### 환경청의 기후지도 반영

추가 입지 가능, 조치 필요,  
입지가 불가능한 지역 구분  
및 건축제한 등

#### 토지이용계획 (F-Plan)

도시 전체를 대상으로 바람길  
활용에 대한 기본지침 제시

#### 지구상세계획 (B-Plan)

구체적인 규제방안 강구

- 예시)
- ① 도심 인근 구릉부의 신규 건축행위 금지
  - ② 도시 중심부 통풍길 지역의 건축물은 5층 이하, 건물 간격 최소 3m 이상으로 규제
  - ③ 바람길인 대도로, 소공원은 100m 폭 확보
  - ④ 산림에 바람통로 조성
  - ⑤ 키 큰 나무를 밀도 있게 심어 산선하고 차가운 공기가 고이는 '공기덤'을 만들고 강한 공기의 흐름을 확산

13

## 사례2: 홍콩

KRIHS 국토연구원

### 호흡기 증후군 극복을 위한 대기통풍 개선 연구 수행

높은 인구밀도 등으로 대기통풍 문제 심각, 도시계획수단을 통해 개선 모색



**높은 인구 밀도**  
6,300명/km<sup>2</sup>  
(한국은 약 349명/km<sup>2</sup>)

대기통풍 등 시민들이  
자연환경의 혜택 누리기 어려움



**2003년  
중증 급성 호흡기  
증후군 발생**

당시 1,755명 감염, 299명 사망 등  
심각한 피해를 경험

홍콩정부는 대기통풍 개선을 위한 도시계획 수단 조사를  
목적으로 **팀 클린 위원회**  
(Governmental Team Clean Committee) 조직

홍콩특구 도시계획과에 대기통풍 평가 규정 검토,  
**대규모 개발계획에서  
건축물 배치 개선 업무** 지정

홍콩특구 도시계획과는  
**도시 대기통풍 평가 시스템 개발**  
을 위한 타당성 조사 연구를 수행

14



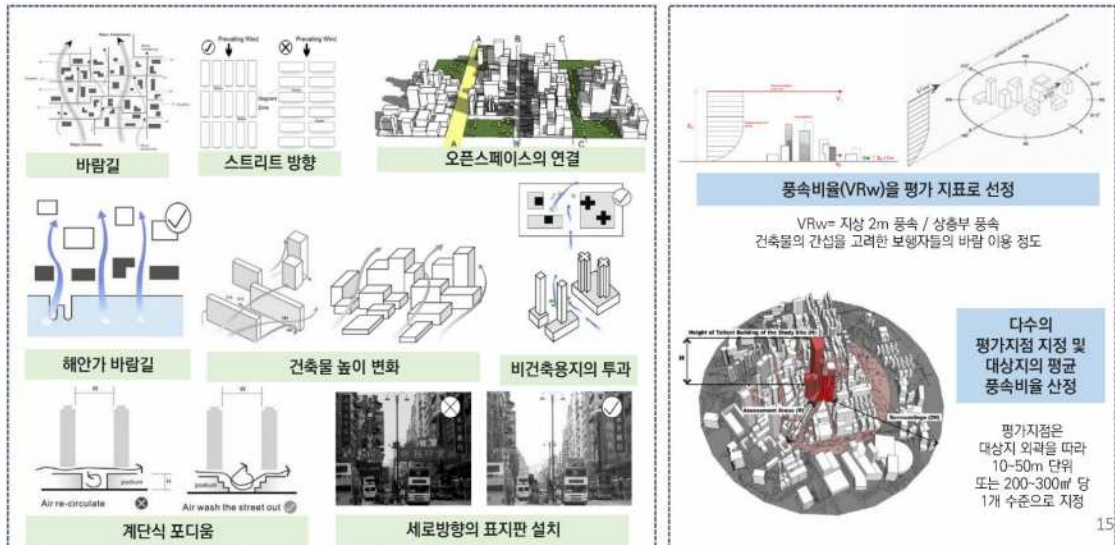


## 사례2: 홍콩

KRIHS 국토연구원

### 대기통풍 연구에 따른 설계 및 평가방법을 도시표준지침에 반영

지구단위와 건축물 단위로 설계지침 제시, 모든 중요한 개발사업에 대해 평가 실시 방침 등



## 사례3: 시흥시·안산시(시화산업단지 완충녹지 조성)

KRIHS 국토연구원

### 산업단지 주변 완충 숲 조성

미세먼지(12%) 및 초미세먼지(17%) 저감



#### ●●● 산업단지 주변 완충 숲 조성 사례

- 시화산업단지 완충녹지 조성으로 인한 인근 주거단지의 미세먼지 농도 변화를 분석한 결과, 조성 전과 비교하여 미세먼지 농도가 낮아짐
- 미세먼지 12%, 초미세먼지 17% 낮아짐 (산림청 국립산림과학원, 2018.3)

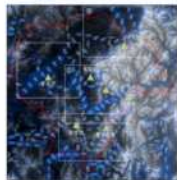


## 사례4: 청주시(찬공기 관리방안 연구)

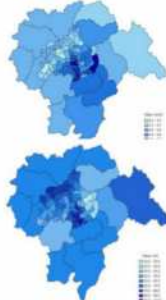
KRIHS 국토연구원

### 찬공기 보전지역과 찬공기 관리지역을 지정

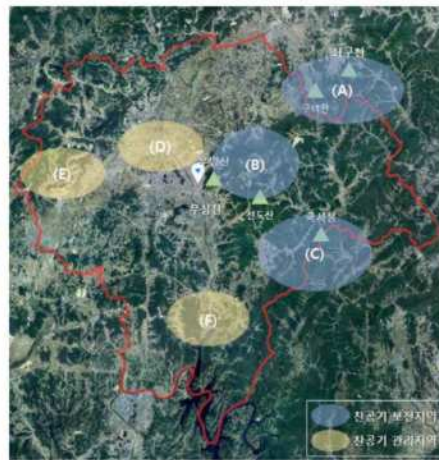
지역의 찬공기 특성, 도시기본계획과 현재의 토지이용 및 개발예정지역 등을 종합적으로 고려



찬공기 흐름도



평균 찬공기 풍속 및 찬공기 농도 분석



- A** 상당구 일대 좌구산, 구녀산 등 포함 생성된 찬공기가 청원구의 농경지로 원활 유입
- B** 상당구 우암산, 선도산 일대의 산지 생성된 찬공기가 무심천을 따라 중심 시가지로 강하게 유입, 택지개발 사업 진행중으로 관리요
- C** 한남북정맥의 국사봉 일대 청주시 중심 시가지로의 흐름을 생성
- D** 흐름이 약한 지역, 현재 청주일반산업단지 위치 향후 청주테크노폴리스지구 입지로 약화 예상
- E** 오송읍 일대, 찬공기 속력은 강하지만 분지형태로 공기 정체, 오송생명과학단지 등 대규모 산업단지 건설 및 인구유입 예상
- F** 청주시 중심을 통과한 찬공기가 양정산에 막혀 정체

손정민, 2019, 도시지역의 열환경 개선을 위한 찬공기 관리방안 연구, 계명대학교, 석사학위논문

17

## 사례4: 청주시(찬공기 관리방안 연구)

KRIHS 국토연구원

### 찬공기 관리지역에 대한 상세 관리전략 제언

도시 차원에서는 찬공기 보전지역의 개발 회피, 지구 차원에서는 개발 사업 시행시 찬공기 흐름 최대한 유지



- 북서쪽 방향의 찬공기 흐름, 흐름이 약하지만 양호한 편
- 토지용도가 농경지에서 공업 및 주거지역으로 전환되어 약화 예상

#### 현재의 찬공기 흐름 유지 및 확대

청주일반산업단지 기존 건물의 옥상녹화, 가로수 확대 등 녹지 조성

#### 원활한 흐름/확산을 고려한 테크노폴리스의 주동 배치 및 녹지 조성

특히 현재 찬공기 흐름인 남동풍을 고려한 주동 배치계획, 충분한 녹지 조성 필요

손정민, 2019, 도시지역의 열환경 개선을 위한 찬공기 관리방안 연구, 계명대학교, 석사학위논문

18





## 사례5: 안양권역(바람길과 대기질을 고려한 도시계획 개선 연구)

KRIHS 국토연구원

### 도시대기환경지도 작성 및 바람길 평가 방법 검증 및 제안

미세먼지 배출원 관리 등 배출 감소에 초점을 둔 사후대책

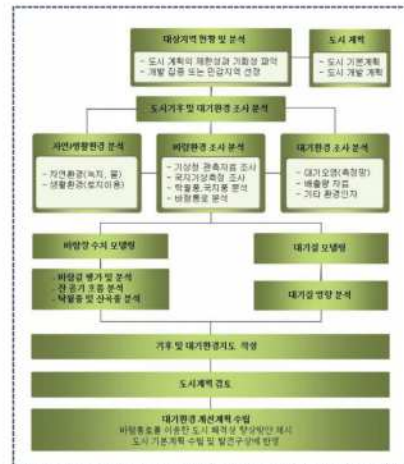
#### 도시 대기환경지도



- 기후 및 대기오염도에 영향을 주는 관련 인자, 기후 및 대기질 분포를 동시에 표현
- 자료는 일정한 공간적 해상도, 대기환경관리자 및 도시계획 담당자가 이용할 수 있도록 구성

환경부, 2007, 바람길과 대기질을 고려한 도시계획 개선을 위한 연구.

#### 바람길을 고려한 도시계획 체계도



19

## 사례5: 안양권역(바람길과 대기질을 고려한 도시계획 개선 연구)

KRIHS 국토연구원

### 안양권역을 시범지역으로 바람길 적용 및 관리방안 제시

대기환경지도 작성을 통해 바람길과 대기질을 고려한 도시계획 수립 가능성 확인

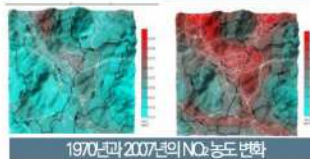
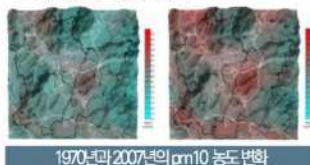
#### 바람길 분석

- 분지지형으로 평균풍속 1.5m/s로 낮은 편 (서울 2.3m/s)
- 6개의 주된 바람길 형성



#### 대기질 평가

- 도시개발에 의한 기상변화가 대기질에 미치는 영향을 분석
- 연간 PM10 농도 14% 증가, NO<sub>2</sub> 농도 43% 증가



#### 관리방안 제시

- 42개소 개발예정지역 중 자연녹지 지역에서 시가지지역으로 용도가 변경되는 7개 지역의 바람장 분석
- 45층 고층빌딩의 바람 영향 분석 등
- 주 바람통로에 위치한 안양역 부근의 저밀도 건축 유도, 주 풍향 방향의 녹지축 조성 제안

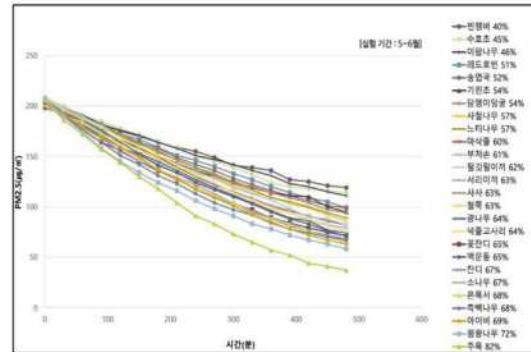
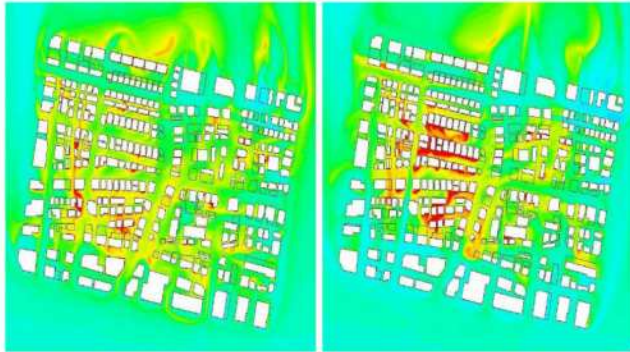


환경부, 2007, 바람길과 대기질을 고려한 도시계획 개선을 위한 연구.

20

### 사례6: 연구 사례(도시의 공간구조 및 미세먼지·열환경의 상호관계)

KRIHS 국토연구원



- 아파트 단지 내 대기 순환이 원활하지 않은 지점 → 미세먼지 농도가 높음
- 고도가 낮을 수록, 바람의 속도가 낮아짐(미세먼지 농도가 높음)
- 완전 밀폐된 챔버 내 PM 2.5의 감소량 측정(8시간 측정)
- 주목(82%), 팽팡나무(72%), 아이비(69%) 등 조경식물은 미세먼지 저감에 효과적

출처: 소규모 지역 차원의 미세먼지 대응 방안, 이권원 호서대 교수 발표자료

21

## 사례 종합 및 시사점

KRIHS 국토연구원

기상·기후환경 + 도시계획 → 바람길의 공간적 적용

기후지도, 대기환경지도 작성

- 지형, 대기환경에 영향을 주는 요인 등의 자료를 체계적으로 구축

✓ **바람생성지역, 바람통로 등의 공간적 범위 지정**

- 찬바람 생성지역, 바람 통풍구, 추가입지 가능/불가능지역 등 지정

✓ 상세한 도시관리 가이드라인, 평가 시스템 구축

- 바람길을 고려한 주동배치, 녹지 연결, 포디움구조, 표지판 위치 등 설계지침 제시
- 토지이용 변화, 개발사업이 바람에 미치는 영향 사전/사후 평가

22



## 04 사례지역(세종시) 바람길의 모의 실험



## 세종시(행복도시) 현황





## 세종시(행복도시) 선정 이유

KRIHS 국토연구원

- (기후) 겨울철엔 북서계절풍이 우세하며 여름철엔 남서풍이 우세  
- 청주시, 공주시, 대전광역시, 천안시, 아산시 등을 영향권
- (지형) 지형적으로는 세종시를 둘러싸고 있는 산의 고도가 낮고 표고가 100m 이하 인 지역의 전체면적의 65.3%  
- 대표적인 내륙 분지지형에 속하며 대기오염물질이 정체 가능성이 높음
- (기상) 또한 평균풍속은 2015년도 기준으로 1.5m/s  
- 대기중 오염물질의 확산 속도가 낮음
- (인개) 1997년부터 2006년까지 최근 10년간 인개 일수는 연 평균 44.8일  
- 인근 대전(19.6일)과 청주(26.4일)와 비해 2배 가량 높음
- (인구) 세종시 출범대비 15만명이 증가하여 2019년 5월 기준 32만명이 거주  
- 2030년까지 인구 80만명을 목표로 하고 있어 미세먼지에 대한 대책 필요
- (배출원) 개발예정인 나대지에서 발생하는 비산먼지에 따른 미세먼지가 많음  
- 인구증가에 따른 자동차등록대수도 꾸준히 증가



&lt;지형&gt;



&lt;경사&gt;

25

## 세종시 미세먼지 현황(1)

KRIHS 국토연구원

### WHO 연평균 미세먼지 농도 기준보다 세종시 미세먼지 농도가 높음\*

세종시의 연평균 미세먼지(PM10)는 30~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 초미세먼지(PM2.5)는 20~25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  임

\* WHO의 연평균 농도기준은 미세먼지(PM10)는 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이며, 초미세먼지(PM2.5)는 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  임

#### 세종시 및 인근 미세먼지 관측소의 평균 미세먼지 농도

2018년 6월 까지		PM10			PM2.5		
		관측시기	평균	최고	관측시기	평균	최고
세종	신흥동	2016.4.~	48.0	398	2016.6.~	24.8	149
	아름동	2016.4.~	44.5	434	2016.5.~	21.9	119
	한솔동	2018.6.~	30.3	115	2018.6.~	19.1	76
청주시	송정동	2010.1.~	59.5	998	2015.4.~	30.9	202
	사천동(내덕동)	2010.1.~	59.2	1895	2015.12.~	33.4	216
	문화동	2003.2.~	61.3	1635	2015.4.	30.6	228
	용암동	2004.6.~	47.1	652	2015.12.~	28.0	170
대전 대덕구	오창읍	2014.1.~	53.3	1606	2015.12.~	33.7	211
	읍내동	2001.1.~	49.4	1254	2016.7.~	23.6	125
	문명동	2003.1.~	47.6	1111	2017.1.~	26.3	160

출처: 박종순 외(2019), 미세먼지 저감을 위한 국토환경계획 연계 방안 연구 착수연심회 자료, 국토연구원

26

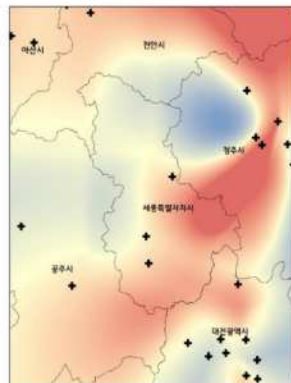


## 세종시 미세먼지 현황(2)

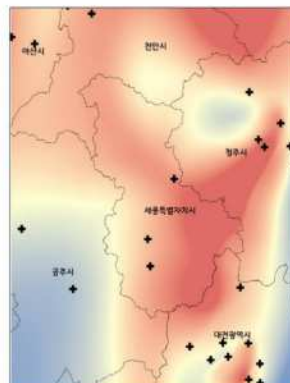
KRIHS 국토연구원

### 세종시 인근 지역의 미세먼지에 영향을 받고 있음

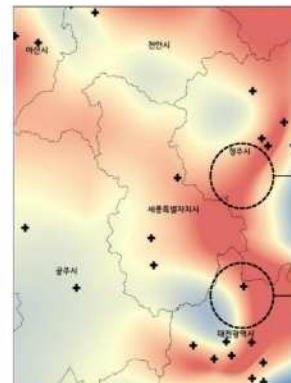
청주시, 대전시에 위치한 산업단지에서 발생한 미세먼지가 세종시 5생활권 지역으로 유입되고 있음



2016년 연평균 PM10



2017년 연평균 PM10



2018년 연평균 PM10

출처: 박종순 외(2019), 미세먼지 저감을 위한 국토환경계획 연계 방안 연구 착수연실회 자료, 국토연구원

27

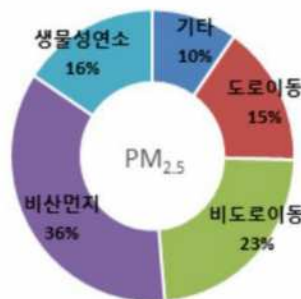
## 세종시 미세먼지 현황(3)

KRIHS 국토연구원

### 세종시 미세먼지 배출의 가장 큰 비중을 차지하는 것은 비산먼지임

세종시의 특성상 나지가 많이 분포하고 있어 도시건설 등에 의한 먼지의 발생 비율이 높음

세종시 미세먼지 배출량 비율 (비산먼지 및 생물성연소 포함)



- 비산먼지(36%) 및 비도로이동(23%) 비율 높음
- 비산먼지는 도로건설 및 건물공사 축산활동에 기인

출처: 이윤희(2017), 세종시와 인근지역 상호영향 분석을 통한 대기질 관리방안 연구, 대전세종연구원

28

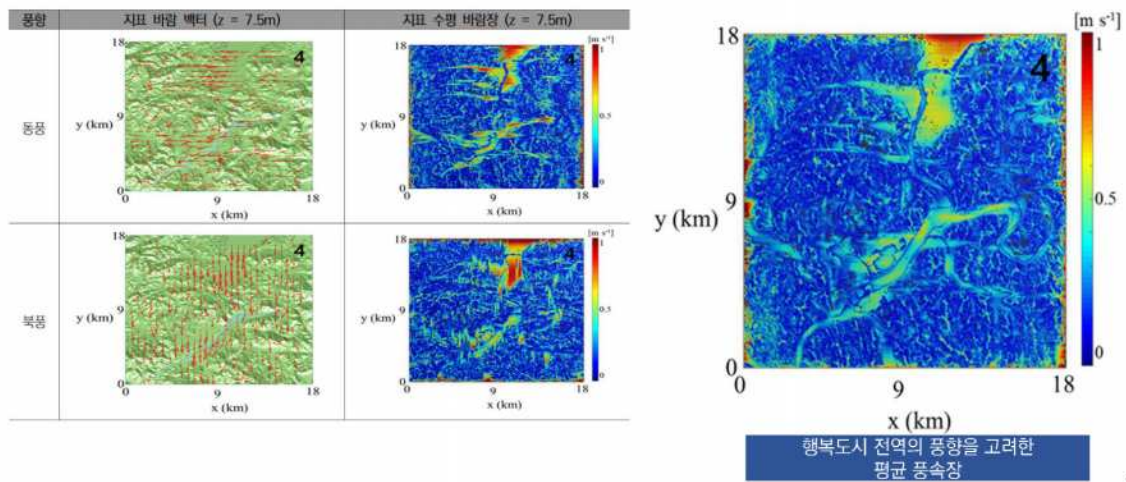


## 세종시 바람길 수치모의 분석(1)

KRIHS 국토연구원

### 세종시 행복도시(건설지역)의 탁월풍의 속도

금강, 예향리, 문주리 등에서 강한 흐름 발생



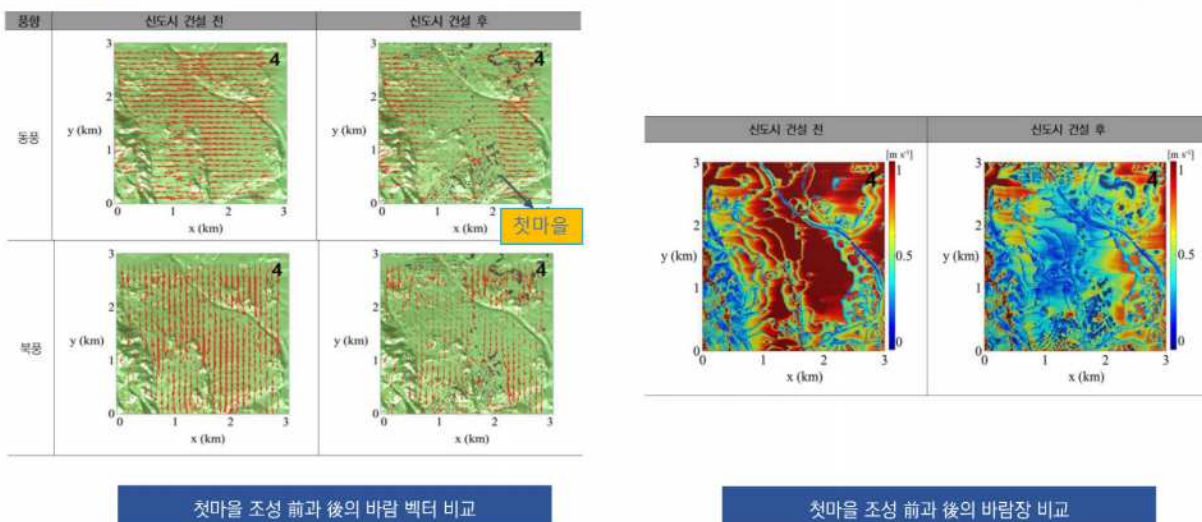
출처: 박종순 외(2019), 미세먼지 저감을 위한 국토환경계획 연계 방안 연구, 중간연설회 자료, 국토연구원

29

## 첫마을 도시 조성 前과 後의 비교

KRIHS 국토연구원

### 도시 건설 후 바람의 방향이 복잡하게 변함 도시 건설 후 바람의 속도 저하



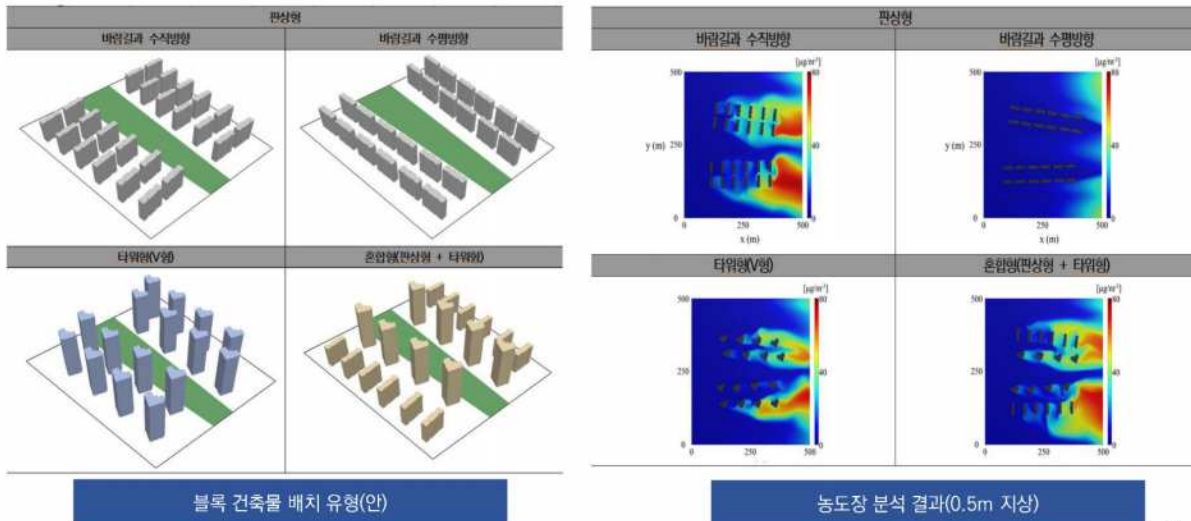
출처: 박종순 외(2019), 미세먼지 저감을 위한 국토환경계획 연계 방안 연구, 중간연설회 자료, 국토연구원

30

## 행복도시 6-3생활권 블록 대상 모의 실험

KRIHS 국토연구원

건축물·오픈스페이스 배치와 미세먼지 농도의 상관성 높음  
적절한 바람길 도입 → 대상지별 수치 모의 실험 실시 필요



출처: 박종순 외(2019), 미세먼지 저감을 위한 국토환경계획 연계 방안 연구, 중간연구회 자료, 국토연구원

31

## 모의 실험의 시사점

KRIHS 국토연구원

지형, 하천, 풍향, 풍속, 바람길 → 도시 내 미세먼지 공간적 분포 관련

### ✓ 신도시 건설 → 바람 벡터장 왜곡

- 도시 건설 이전에 기상 영향평가가 필요

### ✓ 건축물의 고도, 배치 → 바람장 변화

- 예) 타워형(V형) : 중앙녹지(풍속이 증가), 미세먼지 저감 효과(↑)

### ✓ 적절한 바람길 도입 → 대상지별 모의 실험 실시

- 오픈스페이스, 지형, 건축물 배치, 동간 간격, 풍향, 풍속 등

32

## 05 공간계획에 바람길이 적용되고 있는가



### 국토·환경 관련 법제도 검토

KRIHS 국토연구원

#### 바람길 및 미세먼지 관련 국토/환경 관련 법제도 검토

##### 국토 법제

- 국토기본법
- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률
- 국토계획평가에 관한 업무처리지침

- 국토종합계획
- 광역도시계획
- 도시·군 기본계획
- 지구단위계획
- 지방자치단체 사례

##### 환경 법제

- 환경정책기본법
- 자연환경보전법
- 대기환경보전법
- 환경영향평가법
- 서울특별시 환경영향평가 조례

- 국가환경종합계획
- 시도 및 시군구 환경보전계획

34





## 국토 관련 법률

KRIHS 국토연구원

### 국토기본법

- 제2조 기본이념 국토에 관한 계획 및 정책은 개발과 환경의 조화를 바탕으로 국토를 균형 있게 발전시키고 국가의 경쟁력을 높이며 국민의 삶의 질을 개선함으로써 국토의 지속가능한 발전을 도모할 수 있도록 수립·집행해야 함
- 제5조 **환경친화적 국토관리** ... 환경정책기본법에 따른 환경보전계획의 내용을 고려하여 자연환경과 생활환경에 미치는 영향을 사전에 검토함으로써 환경에 미치는 부정적인 영향이 최소화될 수 있도록 함 / 산하천 호수는 연안해항으로 이어지는 자연생태계를 통합적으로 관리·보전하고 훼손된 자연생태계를 복원하기 위한 종합적인 정책을 추진함으로써 인간이 자연과 더불어 살 수 있는 쾌적한 국토 환경을 조성해야 함

국토계획평가, 국토 조사 등 친환경적인 국토관리 내용을 담고 있으나, 미세먼지 및 도시 내 바람길 적용을 위한 구체적 실천 수단이 제시되지 않음

### 국토의 계획 및 이용에 관한 법률

- 33조 국토는 자연환경의 보전과 자원의 효율적 활용을 통하여 **환경적으로 건전하고 지속가능한 발전**을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 함 / ... ② 자연환경 및 경관의 보전과 훼손된 자연환경 및 경관의 개선 및 복원, ... ④ 주거 등 생활환경 개선을 통한 국민의 삶의 질 향상, ...
- 도시의 지속가능성 평가, 용도지역, 개발제한구역, 지구단위계획, 개발행위의 허가, 기본시설부담구역, 용도지역 용도지구 및 용도구역에서의 행위제한, 용도지역의 간섭을 용적률 등의 구체적인 실천 수단 마련

자연환경 및 생활환경을 보전하고 개선해야 함을 제시하고 있으나, 구체적으로 도시 미기후, 바람길 관련 내용은 포함되지 않음

### 국토계획평가에 관한 업무처리지침

- 2조 국토계획평가는 국토계획을 대상으로 국토균형 발전, 경쟁력 있는 국토여건의 조성 및 환경친화적인 국토관리 측면에서 국토의 지속가능한 발전에 기여하는 지 여부와 국토관련 최상위계획인 국토종합계획 및 상위유관계획과 부합하는지 여부를 평가하는 것임
- 별표 2 환경성 검토 항목 상태, 녹지축, 주요 보호대상 동식물, 환경 관련 시설물 등, 환경보전계획 및 정책과의 부합성 검토

미세먼지를 포함한 대기환경, 배출원, 바람통로 등에 관한 사항이 검토항목에 포함되지 않음

35

## 국토 및 도시계획

KRIHS 국토연구원

### 국토종합계획

- 제4차 국토종합계획(재수정계획)(2011~2020) : 전지구적인 온난화 진행에 대한 대응 미흡 지적, **대기관리 및 에너지 부문 개선 필요성 제시**
- 미래형 첨단 물류체계 구축, 공해물질 저감을 위한 대체운송수단 활용을 제고할 것을 제안 / 기후변화 시나리오, 원사 등 지구적 환경문제에 주변 국가와 공동으로 대응하는 시스템을 마련하는 내용 포함 / 비도시지역의 난개발 방지를 위한 규제완화를 제시

도시 내 미세먼지를 포함한 대기환경 문제에 소극적으로 대응

### 광역도시계획

- 자연환경, 경관 생태계, 녹지공간 등의 보전 및 확충에 주력하여 계획이 수립되어야 함을 기본 원칙으로 제시
- 녹지축은 광역계획권의 내부와 외부의 녹지체계를 고려하여 개발축과 개발축 사이, 도시와 도시 사이에 배치하는 것을 원칙으로 하고, 현상(현벨트모양), 선형, 4대형 등 다양한 형태로 설정하고 급격한 단절되지 않도록 네트워크화해야 한다고 제시하고 있음 (제9절 공간구조구상)
- **대기질 개선과 관련하여 대기질 소용, 진동, 악취 등의 환경현상과 환경악화요인 및 토지이용계획 등을 조사·분석하고 장래를 전망, 개선을 위한 대책을 제시해야 한다**고 명시(제4절 부문별 계획)

대기질 개선에 대해서는 선언적으로 명시되어 있으나, 이와 관련된 구체적인 실천 수단이 제시되지 않음

### 도시·군 기본계획

- 환경적 측면에서 지속가능한 국토관리를 추구하기 위해 도시·군 기본계획은 도시의 급속한 성장과 외연적 확산에 따른 자연환경의 훼손과 대기·수질 오염 등의 오염발생을 사전적으로 방지하는 역할을 담당 / 기후변화와 지구온난화에도 적극 대응하여 에너지 자원을 절약하는 공간구조를 형성하고 신재생에너지의 사용을 촉진하여 탄소배출량을 저감하는 데 주력해야 함을 명시함
- 계획 내용 중 공간구조의 설정, 토지이용, 환경의 보전과 관리, 경관 및 미관, 공원·녹지 등 바람길과 관련된 내용을 포함하고 있으며, **친환경적 계획을 수립하기 위해 바람길 분석 및 조성 등 도심 열섬현상을 완화할 수 있도록 계획해야 함**

바람길 도입이 필요하다는 것을 제시하고 있으나, 그 방법에 대해서는 구체적으로 명시되어 있지 않음

36

## 국토 및 도시계획

KRIHS 국토연구원

### 지구단위계획

- 도로, 상하수도 등 대통령령으로 정하는 도시계획시설의 처리등급 및 수용능력이 지구단위계획구역에 있는 건축물의 연면적, 수용인구 등 개발밀도와 적절한 조화를 이룰 수 있도록 하여야 함
- 공동주택에서는 건축물의 배치에 있어서는 주민공동생활에 활용되는 장소를 충분히 확보하여 공동체시설을 향상시키도록 하고, **건축물의 배치는 바람통로 등의 기상조건을 고려한** 환경친화적인 단지가 될 수 있도록 계획하여야 함(수립지침 제10조)
- 구역 내 산호탄소 및 각종 대기오염원의 총 발생량을 추정하고 폐기물처리장인을 강구하여야 이에 대한 처리계획을 제출(수립지침 제5조)

선언적이기는 하나 녹지 및 공원 확보, 기후조절, 건축물의 배치에 관한 내용 등이 제시되어 있어 바람길에 적용 가능

### 지방자치단체 제도 사례

- 서울시 도시계획 환경성 검토 업무지침(2001) - 도시계획이 도시환경에 미치는 영향을 고려하여 당해 도시계획의 결정한행으로 인한 환경영향을 사전에 예측·분석하여 환경영향을 줄일 수 있는 방안을 강구, 환경적으로 간접하고 **자속가능한 도시**를 조성
- 대구광역시 인동시 지구단위계획 수립 지침 - 산지형공원 등 대상지와 인접한 지역의 경우에는 건축물의 높이, 형태, 배치계획시 조망 및 개방감 확보와 **바람길 형성** 등을 위한 통풍축, 입면차폐도 등을 종합적으로 제시하도록 함 / 통풍축 확보 대상과 기준을 정하고 있으며 특히 조성된 통풍축이 사각화됨, 바람길 등의 역할을 수행할 수 있도록 함
- 원주시 지구단위계획 수립 지침 - 건축물의 높이를 층수와 병행하여 지정할 수 있으며 계획구역 내 자연적인 **바람길**과 경관상 개방감 확보를 위하여 건축물 1층부 필로티 설치 권장
- 전라남도 에너지 절약에 관한 공공청사 녹색건축 설계 지침 - 건축물 배치계획을 수립할 때 열섬현상을 완화할 수 있도록 부지 내 지형, 하천, 주풍향 등 **바람길을 고려하여** 주동배치를 하도록 함
- 강원도 경관형성 심의 운영 지침 - 경관보전 대상지역 중 하천 및 호수와 인접한 녹지경관과 수변경관의 연결망을 통해 **바람길을 형성하여** 경관과 환경이 복합적으로 기능을 발휘할 수 있도록 유도함

대구, 인동, 원주 등 일부 지자체에서 바람길을 조성하도록 하고 있으나 건축물 배치와 관련한 사항에 국한

37

## 환경 관련 법률

KRIHS 국토연구원

### 환경정책기본법

- 제23조 환경의 양호한 상태유지, 조성, 환경보전의 고려, 기후변화 등 지구환경상의 위해(危害) 예방 등을 기본 내용으로 함
- 오염원(源)의 책임원칙, 환경오염 등의 사전예방, 환경과 경제의 통합적 고려 등 환경정책의 기본정책을 제시
- 제15조 국가환경종합계획에는 ① 환경오염원 환경오염도 및 오염물질 배출량의 예측과 환경오염 및 환경훼손으로 인한 환경의 질의 변화 전망, ④ 환경보전 목표의 설정과 이의 달성을 위한 다음 각 목의 사항에 관한 단계별 대책 및 사업계획 중 **대기환경의 보전에 관한 사항** 등

국가환경종합계획 수립에 관한 내용 중 대기환경 보전에 관한 사항이 포함되어 있으나 미세먼지와 바람길에 대한 구체적인 사항은 언급되지 않음

### 자연환경보전법

- 제43조 환경부장관은 도시의 자연환경보전 및 생태적 건전성 향상 등을 위하여 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 생태축의 설정, 생태다양성의 보전, **바람통로의 확보**, 생태복원 등 자연환경보전 및 생태적 건전성에 관한 지침과 평가지표를 작성하여 관계행정기관의 장 및 지방자치단체의 장에게 권고할 수 있음

### 대기환경보전법

- 대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사(제177조), 대기질 개선이 필요하다고 인정되는 지역을 대기환경규제지역으로 지정·고시할 수 있음(제18조)
- 제103조 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 사업자는 각종 개발계획을 수립·이행할 때에는 계획지역 및 주변 지역의 지형, 풍향, 풍속, **건축물의 배치, 간격 및 바람의 통로** 등을 고려하여 대기오염물질의 순환에 장애가 발생하지 아니하도록 하여야 함

바람길 확보를 권고 또는 고려하도록 하고 있으나 구체적인 세부 규정이 미흡하여 실제 바람길 적용사례는 거의 없는 것으로 파악됨

38



## 환경 관련 법률

KRIHS 국토연구원

### 환경영향평가법

- 환경에 영향을 미치는 계획 또는 사업을 수립·시행할 때에 해당 계획과 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 예측·평가하고 환경보전방안 등을 마련하도록 하여 친환경적이고 지속가능한 발전과 건강하고 쾌적한 국민생활을 도모함을 목적으로 함
- 환경영향평가는 평가대상사업의 성격 및 공간 규모에 따라 전라환경영향평가, 환경영향평가, 소규모 환경영향평가로 구분
- 환경영향평가의 항목 중 대기 환경 분야에서는 기상, **대기질, 악취, 온실가스를 포함**하고 있으며, 소규모 환경영향평가에서는 대기질 악취 등이 포함됨
- 에너지 개발 등 개발사업에 대해 현황자료를 분석하고 **미세먼지(p<sub>m</sub>10, p<sub>m</sub>2.5)의 영향을 예측**하도록 함

개발사업이 미세먼지 농도에 미치는 영향을 평가하도록 하였으나, 바람길 혹은 바람통로의 확보 여부에 대한 평가는 고려되지 않음

### 서울특별시 환경영향평가 조례

- 서울특별시의 특수성을 고려하여 환경영향평가 대상사업의 범위와 시행에 필요한 사항을 정함으로써 과학적이고 지속가능한 도시 조성에 이바지함을 목적으로 함
- 제6조 환경보전목표의 설정 등 ① 환경영향평가는 대상사업의 시행으로 영향을 받게 되는 대기환경, 수환경, 토지환경, 자연생태환경, 생활환경 및 사회경제환경분야에 대하여 실시해야 함
- 별표 2 환경영향평가 항목 1. **대기환경분야-기상·대기질 포함**, 대기질, 악취, 온실가스 등

환경영향평가의 항목 중 대기환경분야가 포함되어 있으나 미세먼지 등은 고려되지 않음

39

## 환경계획

KRIHS 국토연구원

### 국가환경종합계획

- 제4차 국가환경종합계획(2016-2035)은 20년 동안의 국가환경 정책방향성을 제시하는 계획
- 핵심원칙별 추진계획에는 자연자원 관리, 환경서비스, 건강유해 환경요인, 환경위협, 자선소순환경제, 지구환경 보전, 환경권 실현과 관련된 내용이 포함되어 있으며, 초미세먼지가 건강에 주는 영향을 최소화하기 위해 **대기오염물질을 강화하는 내용을** 담음. 관련하여 배출량 인벤토리 구축, 친환경자동차 보급 확대, 실내공기질 개선과 같은 정책과제 제시

대기환경 개선과 실내공기질 개선을 위한 배출원 관리 등의 내용이 포함되어 있지만 도시 내 바람길 혹은 바람통로 등 사전적인 대처 방안이 미흡함

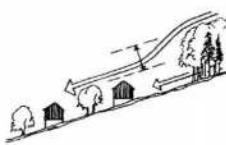
### 시도 및 시군구 환경보전계획

- 환경보전계획은 해당 지자체의 환경정책방향성을 제시하는 계획. 자연생태, 경관, 토양, 지하수, 연안환경, 대기환경, 수질환경, 상하수도, 소음 등 전 분야의 환경요소 및 공간환경계획에 관한 내용을 포함
- 대기오염지도를 작성하여 대기오염이 높은 지역을 파악하고, 배출원 관리 대책을 마련하는 내용을 포함
- 또한 기후환경지도를 작성하여 계획의 지침으로 활용할 것을 권장하고 있음

《환경보전계획 수립지침 내 바람길과 주거지 배치 관련 내용》



산림과 주거지의 간격



주거지 높이



유익한 주거지 구조

대기오염물질의 배출원 관리, 도시 내 통풍, 기후환경지도 작성 등을 권고 하고 있으나 실제 계획에서 이행한 사례를 찾기 어려움 또한 대기환경 현황지도와 토지이용계획과의 연계에 관한 세부 규정이 없음

40



## 국토 및 환경계획의 통합관리

KRIHS 국토연구원

### 국토계획 및 환경보전계획의 통합관리에 관한 공동훈령

- 2018년 3월 제정되어 현재 시행 중
- 제1조 목적 이 훈령은 국토계획과 환경보전계획의 통합관리를 위하여 그 적용범위, 연계방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항을 정하기 위함
- 제2조 기본사항 1. 국토계획 및 환경보전계획 수립 시 중장기적 국토여건, 환경변화 등을 고려하여 지속가능한 국토환경 비전과 경제, 사회, 환경적 측면에서 추진 전략, 목표를 공유하고 제시하여야 함 ...
- 제8조 국가계획의 통합관리 사항 1. 자연생태계의 관리보전 및 훼손된 자연생태계 복원 2. 체계적인 국토공간 관리 및 생태적 연계 3. 에너지 절약형 공간구조 개편 및 신재생에너지의 사용 확대 4. 깨끗한 물 확보와 물 부족에 대한 대응 5. 대기질 개선을 위한 대기오염물질 감축 6. 기후변화에 대응하는 온실가스 감축 7. 폐기물 배출량 감축 및 자원순환을 제고

체계적인 국토공간 관리 및 생태적 연결,  
대기질 개선을 위한 대기오염물질 감축  
등에 관한 내용이 명시되어 있으나  
도시 내 미세먼지 저감 및 확산을 위한  
바람길 적용 방안에 대한 구체적인  
실천수단이 제시되지 않음



현재 훈령에 따라 '제 5차 국토종합계획(2020~2040)'과  
'국가환경종합계획 수정계획(2020~2040)'이 상호 연계를 위해  
동일한 계획 기간을 갖고 동시에 작성되고 있음

41

## 종합

KRIHS 국토연구원

### 선언적인 내용이 대부분, 규정의 구체성 미흡

국토 관련 법령: 미세먼지 및 바람길 관련 내용 한정적, 세부 규정 미흡하여 실제 계획상에 반영되기 어려움  
환경 관련 법령: 기후현황지도, 바람통로 등 고려하도록 하였으나  
실제 계획에서 공간적 범위 제시되지 않으며 토지이용과의 연계도 어려움

법률	국토 및 환경정책	관련 내용			비고
		대기 환경	미세 먼지	바람 통로	
국토기본법	국토종합계획	○	-	-	바람길 관련 내용 부재
	국토계획평가	-	-	-	
국토계획법	광역도시계획	○	-	○	대기질 개선에 대한 선언적 내용 포함, 구체적인 방법론 부재
	도시군기본계획	○	-	○	
	지구단위계획	○	-	○	
환경정책기본법	국가환경종합계획	○	○	○	가장 세부적인 내용 포함하고 있으나 세부 규정 미흡
	지자체 환경보전계획	○	○	○	바람길 확보를 권고 또는 고려하도록 하고 있으나 세부 규정 부재
대기환경보전법	대기환경개선종합계획	○	○	○	
환경영향평가법	-	○	○	○	미세먼지 영향 평가, 바람길 관련 내용 부재

42



## 05 바람길을 도입하기 위해서는



### 도시계획 단계별 도입방안

KRIHS 국토연구원

#### 조사단계, 작성단계, 평가단계, 개발단계 별 도입방안 마련

도시계획 내 바람길의 내재화, 혹은 국토·도시 및 환경계획의 연계를 통해 도시 내 바람길 도입방안 필요

조사단계	국토조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 오염도 조사 항목</li> <li>바람길, 녹지축 관련 조사 항목</li> <li>도시 미기후 항목 조사 여부 (풍랑, 풍속, 풍향, 오염도 등)</li> <li>도면의 축척</li> </ul>	대기오염 측정자료 대기오염지도 도로면지도 국토환경성평가지도 생태자연도 등
작성단계	국토종합계획 도종합계획 광역도시계획 도시군기본계획 도시군관리계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발축 설정과 녹지축 설정의 방향</li> <li>토지이용계획 작성시 미세먼지 저감 고려 정도</li> <li>공원녹지계획의 미세먼지 저감 고려 정도</li> <li>보전지역 지정시 바람길 고려 여부</li> </ul>	국가환경종합계획 환경보전중기종합계획 시도환경보전계획 시군구환경보전계획
평가단계	국토계획평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>입지 선정 단계에서부터 바람길에 대한 사항을 포함하고 있는지 여부</li> <li>미세먼지 저감에 대한 구체적인 평가 방법이 있는지 여부</li> </ul>	전략환경영향평가 소규모환경영향평가 환경영향평가
개발단계	개발계획 실시계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>바람길을 고려하는 지침이나 실천 수단 미흡</li> </ul>	- (사업단위의 환경계획 부재)

44



## 조사단계: 바람길 관련 조사 항목 설정

KRIHS 국토연구원

### 조사 항목 공동 설정 및 상호 공유 시스템 마련

미세먼지, 도시미기후, 바람길 등에 대한 비중있는 조사, 명확한 공간적 범위 제시 등 필요

#### 도시계획 조사단계에서 기상 및 대기오염 현황 지도 작성

계획 수립의 기초자료로 활용

- 도시군기본계획수립지침의 내용 개정, 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 도시 내 바람길을 조사하고
- 지구단위계획수립지침에서는 도시 미기후, 대기오염 배출원, 소지역 단위의 대기오염 현황지도 작성 등을 의무화

#### 환경계획에서는 선언적 바람통로가 아닌, 찬공기 보전지역과 관리지역 제시

- 지적도, 임상도, 용도지역지구구역도, 찬공기 흐름지도 등을 지도 중첩 방식으로 작성하여 개발과 보전의 공간 대상을 용이하게 파악 가능하도록 함
- 환경보전계획 수립지침에서 대기오염 배출원의 정보, 측정소별 환경기준 초과횟수, 대기오염 현황지도, 바람통로 지도 작성 등을 권고 수준이 아니라 의무적으로 조사할 수 있도록 함

45

## 작성단계: 도시계획 수립 시 바람길 설정 방안

KRIHS 국토연구원

### 바람길을 고려한 개발축과 보전축 설정

바람길의 보다 명확한 공간적 범위 제시 및 도시계획에 반영될 수 있는 근거 마련 필요

#### 환경계획에서 바람길의 공간적 범위 제시

- 토지이용계획 작성 시 활용될 수 있도록 광역 차원과 도시 차원에서 도시미기후 정보를 공간화된 형태로 제공하도록 하는 내용 명시 필요

#### 도시계획 차원에서 토지이용계획, 공원녹지계획, 지구단위계획 작성 시 반영

- 지구단위계획 수립 시 건축물의 배치 및 고도, 공원녹지계획, 가로수 수종 선정 등을 통해 바람통로 확보 필요
- 도시군기본계획수립지침의 내용 개정 필요: 토지이용, 공원녹지, 녹지축과 연계하여 바람길을 조성하고 미세먼지를 저감 및 확산시키는 계획을 수립해야 한다는 내용을 명시

46



## 평가단계: 정량적인 바람길 평가 기법 도입

KRIHS 국토연구원

### 도시 기후와 미세먼지, 바람길 고려하여 작성되었는지 평가

환경성검토, 환경영향평가 등을 통해 바람길 조성 여부, 도시 내 바람길에 미치는 영향 등 검토 필요

#### 국토계획평가 중 환경성 검토 항목에 검토 항목 추가

- 환경성 검토 항목에 도시기후, 대기오염, 바람길 바람통로가 고려되었는지 검토할 수 있는 평가항목 추가

#### 환경영향평가를 통해 개발사업이 광역 및 도시 차원, 도시 내 바람길에 미치는 영향을 평가

- 현재 환경영향평가에서는 해당 개발사업이 대상지 내외부의 기상, 대기질, 악취 등에 미치는 영향을 평가하는데 그침
- 대상 개발 사업이 바람길 혹은 바람통로를 확보했는지 여부를 평가할 필요가 있음

47

## 개발단계: 바람길의 실질적인 도입단계

KRIHS 국토연구원

### 개발 및 실시계획 수립 시 바람길 도입 방안 마련

미세먼지, 도시미기후, 바람길 등에 대한 비중있는 조사, 명확한 공간적 범위 제시 등 필요

#### 개발계획과 실시계획 수립 시 토지이용계획과 바람길 계획 연동

- 시가지 및 산업단지 개발 시 토지이용계획과 바람길 계획이 연동된 개발계획 및 실시계획 작성 필요

#### 사업단위별 환경계획 수립

- 수립된 환경계획을 반영하여 개발계획과 실시계획 수립하도록 함

48

도시 바람길 도입

II

미세먼지 저감을 위한 현실적이고  
경제적인 대안

감 사 합 니 다.





미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

주제발표

3

# 미세먼지 양상을 고려한 생활공간의 미래지향적 대응

● 이 은 석 (건축도시공간연구소 스마트·녹색연구단 부연구위원)

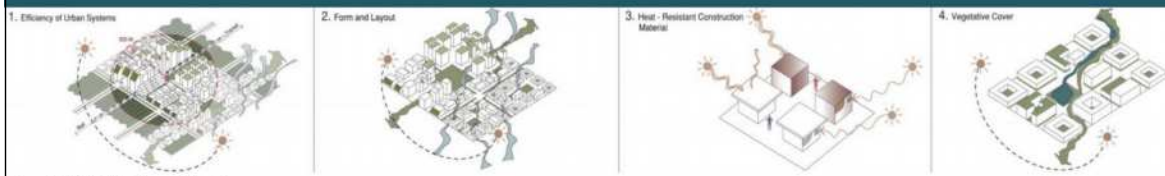




2019 AURI 건축도시포럼  
미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

## 미세먼지 양상을 고려한 생활공간의 미래지향적 대응

2019. 7. 10.



이은석 녹색건축센터장 (Ph.D)

(auri) 건축도시공간연구소

## Contents

- 1 우리사회의 미세먼지 양상
- 2 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함
- 3 현재 진단에 따른 미래지향적 대응
- 4 정책부문의 과제와 제언



1 우리사회의 미세먼지 양상
2019 AURI 건축도시포럼
4

## 여론과 연구를 통해 본 우리사회의 미세먼지

**□ 여론 속 미세먼지 : 네이버 검색에서 "미세먼지" 검색**

- **맘카페 속 이슈** : "미세먼지 땀에 자연환기 창문필터 달았어요", "키즈카페 미세먼지 수준 실시간 공유", "미세먼지 수치를 믿을 수가 없어요", "매번 00시 만 미세먼지가 더 나쁜 것 같아요", "미세먼지 좋음 속지 마세요", "미세먼지 측정기 사용후기", "미세먼지 마스크를 집에서 질 수는 없잖아요", "미세먼지 지옥..없는 곳에서 살고 싶다", "환기장치 필터교체는 어떻게?", "미세먼지 심한 날 어린이집 야외활동, 환기 문제",
- **방송&신문 속 이슈** : "미세먼지 우리는 왜 '더' 불안한가?", "미세먼지 만원 매년 2배 급증", "지금도 지하주차장은 미세먼지 매우매우 나쁨", "미세먼지 없는 통학로 만들어주세요", "중국발 미세먼지와 국내발생 미세먼지, 어느 것이 더 해로울까?"...

**□ 미세먼지 연구 속 담론 : Google 학술검색 "미세먼지" 검색**

- '미세먼지 저감 기술 동향', '어린이집 부모와 교사의 미세먼지 관련 지식 정도 등', '미세먼지 노출에 의한 건강영향', '미세먼지의 지역별 생산기반 배출량', '미세먼지 대응형 스마트 웨어 시스템 개발', '미세먼지 이동 경로 추정', '시계열 분석을 활용한 월경성 미세먼지 연구', '미세먼지 문제개선을 위한 사회 문화적 지불 의사액 추정'...

**“우리사회는 보이지 않는 미세먼지 영향에 스트레스 중,  
문제 해결을 위한 원인파악과 대응기술이 활발히 연구 중이다.”**



## 1 우리사회의 미세먼지 양상

2019 AURI 건축도시포럼

5

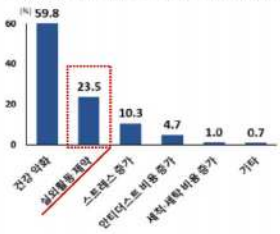
## 미세먼지에 따른 생활공간 이용의 변화

## □ 안전한 숨쉬기를 위해 '실외'에서 '실내'로 공간이용 변화

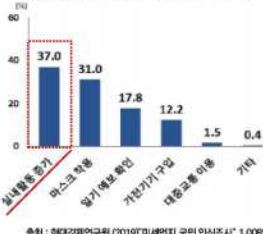
- 미세먼지는 우리사회 최대 사회 불안요소이며, 피해는 '스트레스(건강악화, 실외활동제약, 스트레스)의 증가'로 일상생활에서 스트레스를 줄이기 위한 소비패턴과 습관 변화 진행 중: "실외공간활동 < 실내공간 활동"



## &lt; 미세먼지로 인한 가장 심각한 피해 &gt;



## &lt; 미세먼지로 인한 일상생활 변화 &gt;



## 1 우리사회의 미세먼지 양상

2019 AURI 건축도시포럼

6

## 미세먼지에 따른 생활공간 이용의 변화

## □ 실내 생활공간의 다양한 공기오염원과 공존

- 실외 미세먼지를 피해 실내활동을 하지만, 실내에는 미세먼지 뿐만 아니라 세균, 일산화탄소, 폼알데하이드, 이산화탄소, 오존, 라돈, 휘발성 유기화합물, 오존 등 다양한 공기오염원과 공존하게 됨

- 실내 생활공간은 대부분 건축물이며, 건축과 도시정책 대상에 속함



## □ 또 다른 불확실성에 따른 실내공간에서의 숨쉬기 불안감

- 실내에서 미세먼지의 위험성을 제기하고 있지만 외부유입 미세먼지와 실내발생 미세먼지의 위해성 판단은 어려움

- 대기 중 미세먼지의 실내기여도, 실내영향을 평가하는 국제 및 국내 기준이 부재

출처: 이연희(2019) 대기 중 미세먼지의 실내기여도 평가



## 1 우리사회의 미세먼지 양상

2019 AURI 건축도시포럼

7

### 불안심리의 뿌리 : 숨쉬기 스트레스

#### □ 건강하지 않은 숨쉬기의 역사적 결과



[12,000명 사망, 영국 런던스모그 (1952, SO<sub>x</sub>&먼지)]

[20명 사망-6,000명 피해, 미국 도노라 사건 (1948, SO<sub>x</sub>&먼지)]

[“온산병”, 대한민국 울산공단 (1980's, 환안불명 대기오염)]

#### □ 건강한 숨쉬기를 원하는 심리의 역사

영국, 런던스모그 사건 → 1956년 Clean Air Act (세계 최초 공해관련 법 통합 및 대체 제정)

미국, 도노라사건, LA 스모그 → 1955년 대기오염규제 원조법 개정, 1963년 대기오염 방지법, 1970년 청정 대기법

한국, 1988년 서울올림픽 → 1977년 환경보전법에서 1990년 대기환경보전법 분리 제정

목적: 대기오염으로 인한 국민건강 및 환경에 대한 피해를 예방하고 대기환경의 적정관리 및 보전을 통해 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함

출처: 환경부 (2008)

역사로부터 대기오염에 의한 피해가 무엇인지 학습되어 있고,

대기오염 물질인 미세먼지에 대해 잘 모르기 때문에 **숨쉬기 불안감**이 증대



2019 AURI 건축도시포럼

## 02 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함

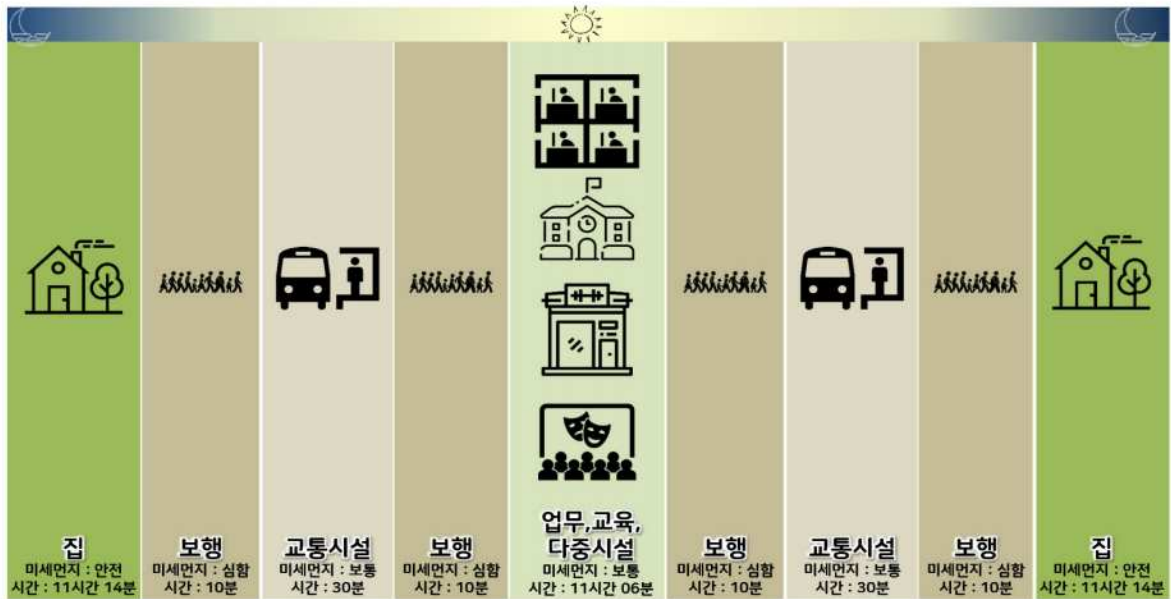
## 2 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함

2019 AURI 건축도시포럼

9

## 미세먼지에 노출되는 생활공간의 범위

□ 하루 동안 미세먼지에 노출되는 생활공간 : 통계청 2014년 생활시간조사 기준



## 2 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함

2019 AURI 건축도시포럼

10

## 실외공간에서 오는 불안감과 불편함

□ 불안감 : 미세먼지 노출시간이 길어질수록 심리적 불안감이 증가한다. (가설)

- 통근구간, 통학구간 중 실외 보행공간 노출시간이 길어질수록, 교통시설 이용 대기시간이 길어질수록, 실외 운동시간이 길어질수록 심리적 불안감이 증가할 것

▶ 보행 소요시간과 교통시설 이용 대기 중 노출시간, 실외 체육시간을 줄이지 못하는 데서 오는 불안감 증폭에 초점



□ 불편함 : 노출시간을 줄이고 싶으나 실외에서 방법을 찾을 수 없다. (가설)

- 보행시간 단축 : 최단거리, 동선 중 실내공간(건물내부, 지하) 이용 가능 지점 파악을 하고 싶으나 정보가 없음
- 교통시설 이용 대기시간 단축 : 횡단보도 신호대기, 교통수단 탑승대기 중 미세먼지를 피할 수 있는 시설이 전무
- 교육시설 체육활동 확보 : 대부분 학교의 강당 규모가 원활한 체육활동을 하기에 좁음





## 2 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함

2019 AURI 건축도시포럼

11

### 실내공간에서 오는 불안감과 불편함

#### □ 불안감 : 바깥 미세먼지는 피했지만 실내 미세먼지 상태는 괜찮을까? (가설)

- 미세먼지 불안감에 집에 있는 시간이 길어지거나, 외부 활동시 실내공간에 머물지만, 외부에서 들어오는지, 오염도는 어느 정도인지 알 수 없어 휴대 미세먼지 측정기기를 구입하거나, 외부에 측정 요청
- 장시간 머무는 실내공간의 당시 상태를 알고 싶지만 확인할 수 없는 불안감에 주목



#### □ 불편함 : 실내 공기질에 개선되고 있는지 정보를 알고 싶으나 알 수 없다. (가설)

- 환경관리공단에서 지하 공간의 실내 공기질 실시간 정보를 제공하나 이용에 불편
- 대부분 국민이 갖고 있는 휴대폰의 위치 기반의 실내 공기질 정보 확인 애플리케이션 필요



출처 : 환경관리공단 수도권기질 자문서비스

## 2 생활공간에서 느끼는 불안감과 불편함

2019 AURI 건축도시포럼

12

### 최신 미세먼지 대응 기술사례

#### □ 실외공간 대응 최신기술

- 2010년대 후반부터 미세먼지 대응 신기술이 현실 적용되고 있음 : 버스정류장, 벤치, 신호등, 미스트, 안전침터 등



#### □ 실내공간 대응 최신기술

- 최근 메이저 건설사 주택을 대상으로 한 실내 미세먼지 토털 패키지 시스템이 개발되어 소개



최신미세먼지대응 기술은 우리의 불안감과 불편함을 해소해 주고 있는가?



2019 AURI 건축도시포럼

## 03 현 상태진단에 따른 미래지향적 대응

### 3 현 상태진단에 따른 미래지향적 대응

2019 AURI 건축도시포럼

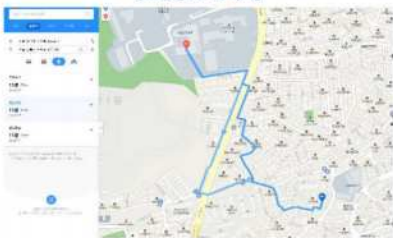
14

## 실외공간 : 도시계획적 진단과 대응

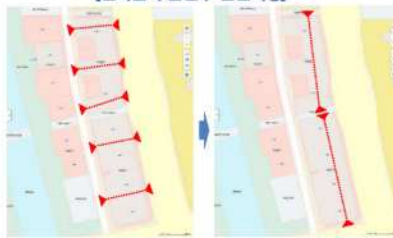
### □ 공간적 범위와 진단

- 공간적 범위 : 실외-실내 연계부 / 도시계획적 진단 : 미세먼지 발생시 실외 노출시간 최소화 공간 확보 필요
- 도시계획 대상 : 보행동선 정비, 교통시설 개선, 건축물 외부 통로선 지정, 주출입구 지정, 미세먼지 대피소 설치 규제완화

[보행동선 최적화]



[건축물 주출입구 연결지정]



[교통시설 개선]



[미세먼지 대피소 권장 위치  
(황단보도, 버스정류소인근 건물) 지정]



[건축물 외부 통로선 지정 및 미세먼지 차단설비 설치 권장]







### 3 현 상태진단에 따른 미래지향적 대응

2019 AURI 건축도시포럼

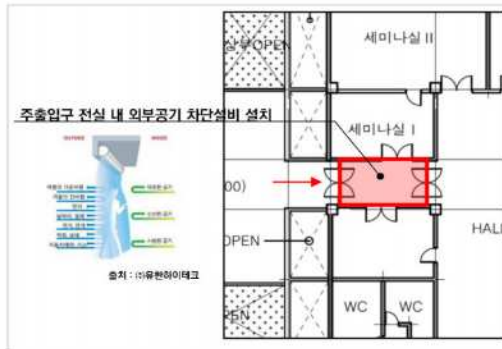
15

## 실내공간 : 건축계획적 진단과 대응

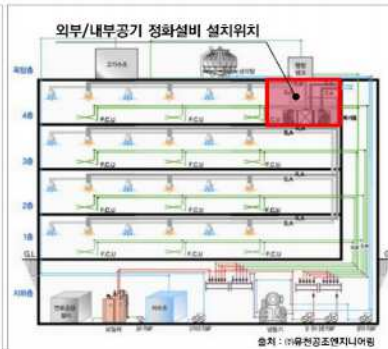
### □ 공간적 범위와 진단

- 공간적 범위 : 실내 연계부-실내 / 건축계획적 진단 : 외부미세먼지 유입 차단, 내부 발생 미세먼지 정화
- 건축계획 대상 : 다중이용시설 이중 주출입구 계획, 전실 외부공기 차단 설비 계획, 공기정화 기능 중앙공조설비 계획  
지하주차장 외부공기 차단 설비 계획, 지하주차장 내 보행자통로 계획

[이중 주출입구 계획 및 전실 외부공기 차단설비 건축계획 예시]



[환기용 중앙공조 설비 계획 예시]



[지하주차장 스피드 도어 설치 예시]



2019 AURI 건축도시포럼

## 04 정책부문의 과제와 제언

## 4 정책부문의 과제와 제언

2019 AURI 건축도시포럼

17

## 국민의 바람과 시사점

“미세먼지 경보가 나뉘면 날은 미세먼지는 내가 어디에 있든지, 초에 한 번 이상 몸 속에 들어올 수 있다는 불안감이 크다.  
그나마 실내에서 불안감을 덜지만, 점점 답답한 지을 수 없다.”

“개인이 공기청정기, 마스크, 정도로 해결하는데 한계가 있는 만큼 국가와 공공이 나서 불안감을 덜어주는 노력을 해주기 바란다.”

## □ 향후 미세먼지 배출 저감을 위한 생활공간의 적극적 대응

- 건물부문: 이용 용도별 건축물 배기 집진 · 공기정화설비 설치 의무화
- 교통부문: 대중교통 청정 연료화, 차량정체문제 해소
- 실외공간 부문: 대기 흐름에 기반한 녹지 확보 및 활용, 건설현장 비산먼지(건설기계) 배출기준 강화
- 통신부문: 재난알림정보 강화 (최단경로 안내, 미세먼지 회피공간 경유 동선 안내, 인근 미세먼지 피난시설 안내)

[양방향 집진설비 응용 건물부문 배출공기 정화]



[창정에너지 대중교통 도입]



[재난알림정보 개선: 미세먼지 회피동선 안내]



## 4 정책부문의 과제와 제언

2019 AURI 건축도시포럼

18

## 정부정책의 미래 방향성

## □ 생활공간의 미세먼지 문제는 복잡하고 예민함

- 대상과 방법에 대한 윤곽을 잡을 수 있는 월경성 미세먼지와 달리 실생활과 관련되어 복잡하고 예민함
- 제도의 섬세한 협력이 필요하므로 관계부처가 합동해 문제를 진단할 방법을 고안하고, 지방정부와 공공이 함께 실행할 수 있는 제도적, 재정적 시스템을 구축

## □ 국가와 공공에서 제공하는 정보의 신뢰성과 활용성이 매우 중요

- 미세먼지 농도에 따라 내 건강은 어떤 영향을 받는지, 어떻게 가면 미세먼지에 노출을 줄 일 수 있는지, 어디로 가면 미세먼지로부터 안전한지 만이라도 국가와 정부가 정확하게 알려준다면 불안감을 넘어 공포를 느끼는 지점 이전에 국민 각자가 현명하게 대응할 수 있는 방향을 잡을 수 있을 것

## □ 미세먼지 대응 시설과 정보가 결합된 체계가 필요

- 이미 다양하게 존재하는 미세먼지 관련 기술의 적재적소 배치와 적기 활용이 중요
- 우리사회에 적용되고 있는 도시계획, 건축계획 기준에 반영시켜 미세먼지 기술이 설치되고 활용될 수 있도록 해야함
- 일부 기존 규제로 인해 어려운 부분은 '미세먼지'와 관련했다면, 관련 정부가 합심해 과감한 규제완화까지 도모



**경청해 주셔서 감사합니다.**

미세먼지 위기에 대응하는 건축과 도시환경

주제발표

4

# 실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

● 이 병 희 (LH 토지주택연구원 책임연구원)









2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019.07.10

한국토지주택공사 토지주택연구원

이 병 희

2019 AURI 건축도시포럼

### 목 차

• 2

01. 실내공기질과 미세먼지
02. 실내환경에서의 미세먼지
03. 실내 미세먼지 농도 저감을 위한 제안

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망



# 1. 실내공기질과 미세먼지

2019 AURI 건축도시포럼

## 실내공기질

• 4

### ■ 실내공기질의 중요성

"Since most people spend 85~90% of their time indoors(Jenkins et al, 1992; Robinson and Nelson, 1995; EPA, 1996; Klepeis et al., 2001), assessing indoor particle pollution exposure is important for understanding the impact of particle pollution on human health."<sup>1)</sup>

- **실내 거주 시간 증가** : 실내 거주 시간이 증가함에 따라 실내공기 오염에 대한 건강 영향도가 높아짐.
- **건물의 고기밀화** : 건물의 밀폐화로 인해 침기량이 감소함에 따라 실내 오염 물질의 희석효과가 줄어들음.

### ■ 실내공기 오염물질



1) Chun Chen, Bin Zhao (2011), Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, *Atmospheric environment* 45, pp.275-288

2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지 오염

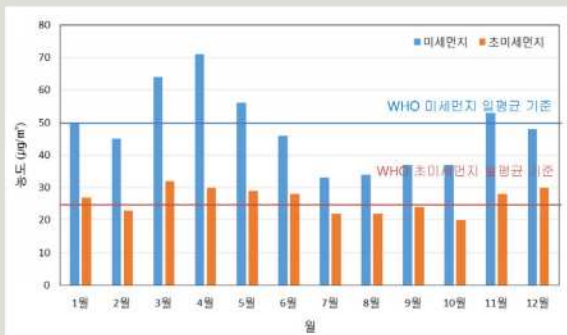
• 5

### ■ 대기 중 미세먼지 및 초미세먼지 오염도 악화

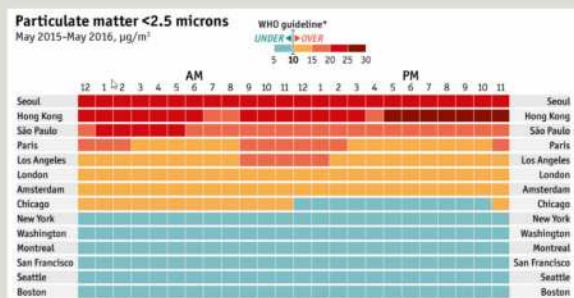
- 국내 대기 중 미세먼지 및 초미세먼지 오염 악화로 인해 미세먼지 노출에 따른 건강 위험성이 대두됨.
- '황사'의 경우, 특정 기간에 발생하며 칼슘, 철분, 마그네슘 등 토양 성분이 주요 성분을 이룸<sup>1)</sup>.
- 최근 미세먼지 주요 성분은 질산염, 황산염 등 이온 성분 및 탄소화합물, 금속화합물 등으로 나타남<sup>2)</sup>.



[그림] 서울시 대기 미세먼지 오염<sup>1)</sup>



[그림] 서울시 월평균 미세먼지 및 초미세먼지 농도 (2016년)<sup>2)</sup>



[그림] 도시별 초미세먼지 오염도<sup>3)</sup>

- 1) Provided by the journal of parallels, 2017, <https://www.npr.org/sections/parallels/2017/10/10/552264719/armed-with-nasa-data-south-korea-confronts-its-choking-smog>
- 2) 서울시 대기환경정보 통계데이터를 활용 (Cleanair.seoul.go.kr)
- 3) Provided by Plume Labs; The Economist, 2017, <http://aqa.amtechnology.co.uk/comparing-urban-air-pollution/>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 환경의 위험성

• 6

### ■ 대기 중 미세먼지 농도가 증가한다면?

황사 발생 일수 매년 급증, 3년만에 5배↑... 황사 때 실내환기 방법은?

[출처: 중앙일보] 입력: 2015.04.21 09:40

글자크기: + -



황사 발생 일수 매년 급증 [사진 중앙일보]

황사 발생 일수 매년 급증, 3년만에 5배↑... 황사 때 실내환기 방법은?

올들어 3월까지 황사 발생 8.7일로 지난해 연중 황사일수 7.6일 이미 넘어

[그림] 황사 발생 시, 실내환기 방법에 대한 기사<sup>1)</sup>

### 황사 때 실내환기, 시켜야하나 말아야하나?

동아일보 | 입력: 2015-03-24 00:05:00 | 수정: 2015-03-25 10:11:35

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

오늘부터 3월 24일부터 3월 25일까지

- 1) [http://article.joins.com/news/article/article.asp?total\\_id=17633299&cloc=olink|article|default](http://article.joins.com/news/article/article.asp?total_id=17633299&cloc=olink|article|default)
- 2) <http://news.donga.com/3/all/20150323/70285291/1>
- 3) <http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?SCD=JC61&newsid=01571126609332840&DCD=A00306&OutLnkChk=Y>

[그림] 미세먼지 오염도 증가에 따른 실내 공기청정제품 판매 증가<sup>3)</sup>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망





2019 AURi 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 환경의 위험성

• 7

### ■ 실내는 미세먼지로부터 안전할까?

#### 미세먼지: 실내로 도망가면 안전할 수 있을까

2018년 11월 8일

f t l e < 공유



과연 실내는 밖보다 대기오염으로부터 안전할까?

그렇지 않다는 연구 결과가 발표했다.

미국 환경 보호국(EPA)은 실내 대기오염이 실외 대기오염보다 2배에서 5배 더 심하다는 연구 결과를 최근 발표했다.

전 세계에 공기청정기 기술을 설치하는 데류 돈은 실내 공기가 실외 공기에 실내 오염물이 더해진 것과 같다고 말했다.

"실내 공기는 실외 공기에 건물 안 먼지들이 합쳐진 거라고 보시면 돼요. 요리할 때 연기, 건축 자재, 청소기 먼지 같은 것들 말이예요."

[그림] 실내 미세먼지 위험성에 대한 기사(1)<sup>1)</sup>

- 1) <https://www.bbc.com/korean/news-46093494>
- 2) <https://www.mk.co.kr/news/it/view/2017/04/247452/>

#### 미세먼지 때문에 외출 안했더니 실내가 더 위험하다고?

실외 공기보다 실내 공기 오염으로 인한 사망자 수 더 많아  
실내 미세먼지·포름알데히드·곰팡이 호흡기질환 위험 높아

이병문 기자 입력 : 2017.04.12 10:38:47 수정 : 2017.04.12 11:07:17

최근 연일 황사, 미세먼지 공포와 위험 때문에 외출은 물론 창문 열기가 두렵다. 이런 가운데 미세먼지가 심한 날은 밖의 공기보다 실내가 더 안전하다고 생각해 창문을 닫고 외출을 삼가는 경우가 많다. 그러나 실내공기를 제대로 관리하지 않으면 오히려 실내에 있는 것이 건강에 더 위험할 수 있다는 지적이 나왔다.

중앙대병원 호흡기알레르기내과 김재열 교수는 "미세먼지 농도가 심각한 요즘 외출을 삼가고 창문을 닫고 지내면 안전하다고 생각하기 쉽지만 밀폐된 공간의 주방에서 음식을 조리할 때 발생하는 오염물질을 비롯해 전기전자제품을 사용할 때 생기는 화학오염물질이 밖으로 배출되지 못하고 쌓여 오히려 실외보다 실내에서 심각한 호흡기질환에 걸릴 위험이 더 높을 수 있다"고 말했다.

최근 실내공기오염의 주요 원인물질로는 주방에서 굽는 요리 후 발생하는 초미세먼지가 가장 주된 오염 원인인 가운데, 건축자재에 쓰이는 포름알데히드와 벤젠 같은 유해물질 및 곰팡이 등도 심각한 문제가 되고 있다. 건물에 많이 사용되는 단열재와 실내용구의 창, 접착제 등에 사용되는 포름알데히드는 인체에 대한 독성이 매우 강해 사람이 포름알데히드에 노출되면 호흡기질환을 유발할 수 있는데, 포름알데히드 농도에 따라 인체에 미치는 영향을 보면, 0.1ppm 이하의 경우에는 눈, 코, 목에 자극이 오고, 0.25~0.5ppm의 경우에는 호흡기 장애와 천식이 있는 사람들에게는 심한 천식발작을 일으킬 수 있다. 그리고, 포름알데히드 농도가 2~5ppm의 경우에는 눈물이 나며 심한 고통을 느끼게 되고, 10~20ppm의 경우에는 정상적인 호흡이 곤란해지며, 기침·두통·심장박동이 빨라지는 증상이 나타난다. 포름알데히드 측정기의 상한치인 50ppm 이상인 경우에는 폐의 염증과 더불어 천기중구도·설사·경련과 같은 급성 중독 증상을 일으킬 수 있고, 심한 경우에는 독성 폐기종으로 사망할 수 있다.

[그림] 실내 미세먼지 위험성에 대한 기사(2)<sup>2)</sup>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

## 2. 실내환경에서의 미세먼지

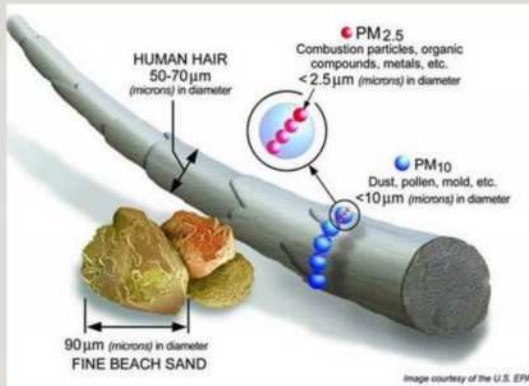
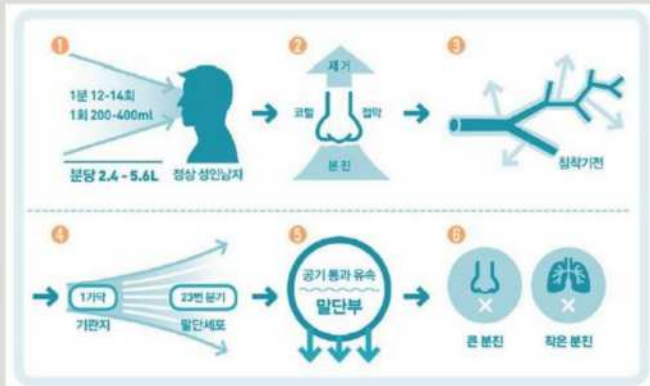
2019 AURI 건축도시포럼

## 미세먼지란?

• 9

## ■ 미세먼지의 정의

- 미세먼지(PM<sub>10</sub>) - 대기 중에 부유하는 직경 10 $\mu$ m 이하의 먼지입자를 뜻함<sup>1)</sup>.
  - 미세먼지의 조성 형태는 매우 다양하나 주로 탄소성분(유기탄소, 원소탄소), 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄), 광물성분 등으로 구성됨<sup>2)</sup>.
  - 미세먼지는 폐포 흡착을 통한 호흡기계 질환을 유발할 뿐만 아니라, 세포벽 투과가 가능하기 때문에 뇌 손상까지 야기할 수 있음<sup>3)</sup>.

[그림] PM10과 PM2.5의 크기 비교<sup>4)</sup>[그림] 미세먼지의 인체 침투과정<sup>5)</sup>

- 1) [www.airkorea.or.kr](http://www.airkorea.or.kr)의 대기오염물질 일부 발제, 환경부
- 2) 박진수, 김창환 외 (2010), 서울지역 미세먼지의 화학적 구성 특성에 관한 연구, 한국도시환경학회지 제10권 제3호, pp.293-303
- 3) EBS, 미세먼지의 습격, 2013년 10월 7일 방영
- 4) [http://www.china.org.cn/environment/2012-06/06/content\\_25577440.htm](http://www.china.org.cn/environment/2012-06/06/content_25577440.htm)
- 5) <http://smartsafety.pe.kr/120208833125>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 미세먼지란?

• 10

## ■ 미세먼지의 분류체계 및 특징

- 미세먼지는 일반적으로 입자의 직경을 기준으로 분류함.
- 우리나라는 10 $\mu$ m 이하의 먼지를 미세먼지(PM<sub>10</sub>)로, 2.5 $\mu$ m 이하의 먼지를 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)로 정의함<sup>1)</sup>.

표기	입경 범위	Life Span	In English <sup>2) 3) 4)</sup>	In Korea
			명칭	명칭 (현재)
PM <sub>10</sub>	≤ 10 $\mu$ m	-	Suspended particle	미세먼지
PM <sub>2.5-10</sub>	2.5 $\mu$ m < ≤ 10 $\mu$ m	≤ 1 day	Coarse particle	-
PM <sub>2.5</sub>	≤ 2.5 $\mu$ m	-	-	초미세먼지
PM <sub>0.1-2.5</sub>	0.1 $\mu$ m < ≤ 2.5 $\mu$ m	≤ weeks	Fine particle	
PM <sub>0.1</sub>	≤ 0.1 $\mu$ m	≤ hours	Ultrafine particle	(초극미세먼지)

- 1) 미세먼지 저장 및 관리에 관한 특별법 및 환경정책기본법에 따르면, '미세먼지(PM<sub>10</sub>)은 입자의 크기가 10  $\mu$ m인 먼지, 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)는 입자의 크기가 2.5 $\mu$ m인 먼지'로 정의함.
- 2) Kenneth T. Whitby (1978), The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmospheric Environment* 12, pp.135-150.
- 3) William E. Wilson & Helen H. Suh (1997), Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies, *Journal of the air & waste management association* 47(12), pp.1238-1249.
- 4) Wallace LA, Mitchell H et al. (2003), Particle concentrations in inner-city homes of children with Asthma: The effect of smoking, cooking, and outdoor pollution, *Environmental health perspectives*, 111(9): 1265-1272.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망



2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 관리 기준

• 11

### ■ 우리나라 미세먼지 관리 기준

[표] 생활환경의 미세먼지 관리기준<sup>1)</sup>

생활환경		미세먼지(PM <sub>10</sub> ) 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	초미세먼지(PM <sub>2.5</sub> ) 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	비 고
대 기		50 이하(연평균) 100 이하(일평균)	15 이하(연평균) 35 이하(일평균)	
다중이용시설	지하역사 등	100 이하	50 이하	산후조리원, 노인요양시설, 어린이집 포함
	의료기관 등	75 이하	35 이하	
	실내주차장, 실내 체육시설 등	200 이하	-	
대중교통차량		200 이하(비혼잡 시) 250 이하(혼잡 시)	-	환경부 관리
학교, 유치원		100 이하	35 이하	교육부 관리

1) 배귀남 (2019), 생활환경 미세먼지 오염, 한국설비기술협회지 36, pp.28-39.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 환경

• 12

### ■ 실내에서의 미세먼지 유입 및 발생 경로

- 실내 미세먼지는 크게 대기 중 미세먼지의 유입 또는 실내에서 발생한 미세먼지로 구성됨.



[그림] 건물에서 발생하는 미세먼지

- 1 건물유입구 및 틈새
- 2 건물 실내
- 3 공조시스템

- 건물유입구(창문, 출입문, 지하주차장 등)를 통한 외부 미세먼지의 실내 유입
- 건물 틈새의 침기, 누기 등을 통한 외부 미세먼지의 실내 유입
- 재실자의 행동(조리, 흡연, 청소 등)이나 사무기기 사용 등으로 인한 미세먼지 발생
- 외기 도입, 실내공기의 순환 등으로 인한 외부 미세먼지 유입 또는 실내 미세먼지의 재유입

### ■ Control the air quality in buildings

There are four approaches to controlling the air quality in buildings <sup>1)</sup>:

- Use of outdoor air
- Control of contaminants at the source
- Air distribution in the space
- Air cleaning

대기 오염도가 높은 경우,  
환기로 인한 실내 미세먼지 관리가 가능한가?

1) Jan F. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari rabl, Heating and cooling of buildings (Revised second edition), CRC press, p.156

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

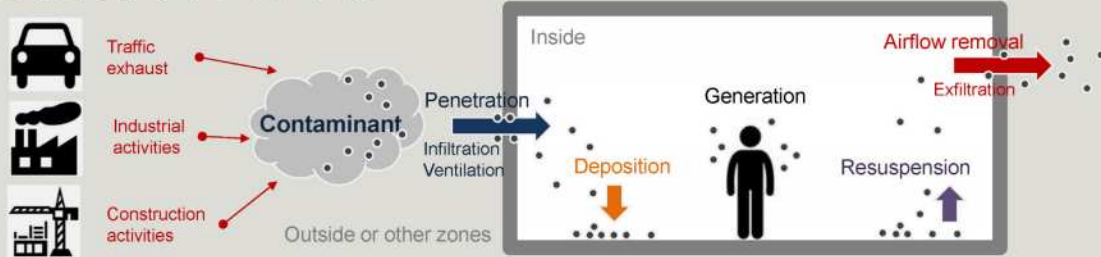


2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 환경

• 13

### 실내공간에서의 미세먼지 거동



[그림] 미세먼지 거동 모식도

#### 실내공간에서 미세먼지는 다음과 같은 현상을 통해 생성, 제거 또는 이동

- **Penetration** : 바람 등의 원인으로 외부 또는 다른 실에서 실내로 미세먼지가 유입됨.
- **Deposition** : 실내에 존재하는 미세먼지가 중력, 정전기력 등의 원인으로 벽이나 바닥에 침착됨.
- **Generation** : 인체 또는 다른 요소로 인해 미세먼지가 발생함.
- **Resuspension** : 진동, 기류 등의 원인으로 인해 침착된 미세먼지가 재부유함.

(선행 연구에 따르면 Resuspension 현상을 Generation에 포함시키는 경우<sup>1)</sup>가 있음.)

- **Airflow removal** : 실내의 미세먼지가 기류 등의 원인으로 외부 또는 다른 실로 이동함.

$$\text{실내 미세먼지 농도} = \text{Penetration} - \text{Deposition} + \text{Generation} - \text{Airflow removal}$$

1) Norbert serfozo et al. (2014), The effect of particle resuspension during walking activity to PM10 mass and number concentrations in an indoor micro-environment, *Building and environment* 82 pp.180-189

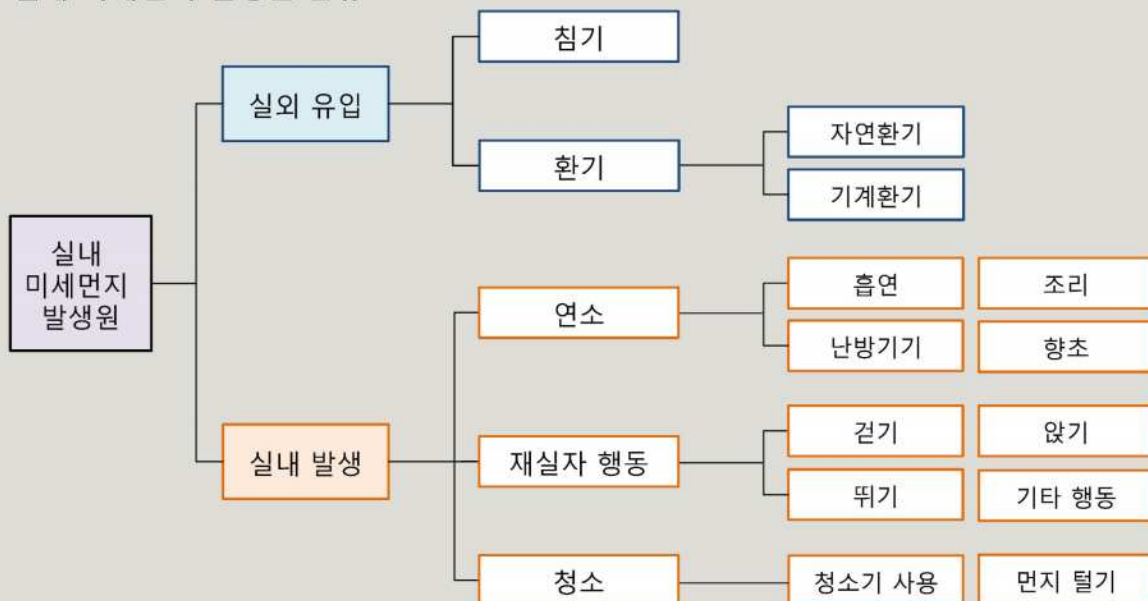
실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 발생원

• 14

### 실내 미세먼지 발생원 분류



1) Zhisheng Li et al. (2017), Sources, health effects and control strategies of indoor fine particulate matter (PM2.5) : A review, *Science of the Total Environment* 586, pp.610-622.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망





2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입

• 15

### ■ 실외 미세먼지의 실내 영향도 분석을 위한 실측 연구

A number of researches have been carried out to determine the contribution of outdoor particles to indoor air quality by field measurements. The most common used method is installing two particle sample monitors inside and outside the testing building and then the I/O ratio can be obtained (Chun et al, 2011)<sup>1)</sup>.

- 다수의 연구에서 실제 건물을 대상으로 실내·외 미세먼지 농도를 측정함으로써 실외 미세먼지의 실내 영향도를 규명하고자 하였음.

저자 및 년도	측정 방법 및 결과
J. Alzona et al. (1979) <sup>1)</sup>	• 주거 건물을 대상으로 실외 및 실내(room) 미세먼지 농도를 측정 및 비교함.
Ligocki et al. (1993) <sup>2)</sup>	• 5곳의 Museums을 대상으로 자연침기 상태에서 Coarse(PM10) 및 Fine(PM2.5) particles의 농도 측정 및 화학적 성분을 분석함. • 실내 PM2.5의 농도 및 성분이 실외 PM2.5와 유사한 것에 반해 PM10의 경우, 외기 PM10 농도에 비해 현저히 낮은 것을 볼 수 있음.
E. Abt et al. (2000) <sup>3)</sup>	• 보스턴에 위치한 4곳의 주택을 대상으로 Real-time monitor를 사용하여 실내·외 미세먼지 농도를 측정함. • 실외 미세먼지 중 0.02-0.5 $\mu$ m 및 0.7-10 $\mu$ m의 입자가 실내 미세먼지 농도 형성에 주로 기여함을 밝힘.
Kuo et al. (2010) <sup>4)</sup>	• 황사기간 중 오피스 건물에서의 실내·외 미세먼지 농도를 측정함. (Direct-reading instrument를 활용) • 황사기간 동안 Coarse 및 Fine particles 모두 실내 미세먼지 농도 형성에 크게 기여함을 밝힘.

1) Chun Chen, Bin Zhao (2011), Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, *Atmospheric Environment* 45, pp.275-288.

2) J. Alzona, B. L. Cohen et al. (1979), Indoor-outdoor relationships for airborne particulate matter of outdoor origin, *Atmospheric environment* 13, pp.55-60.

3) Mary P. Ligocki et al. (1993), Characteristics of airborne particles inside southern California museums, *Atmospheric environment* 27(5), pp.697-711.

4) Eileen abt et al. (2000), Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations, *Environmental science and technology* 34(17), pp.3579-3587

5) Hsien-Wen Kuo, Huna-Yi Shen (2010), Indoor and outdoor PM2.5 and PM10 concentrations in the air during a dust storm, *Building and environment* 45, pp.610-614.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

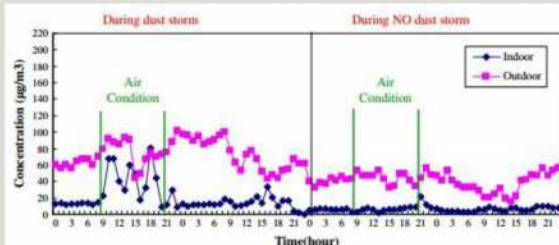
## 대기 중 미세먼지의 실내 유입

• 16

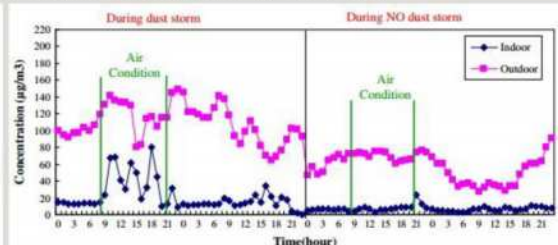
### ■ 실내·외 미세먼지 농도간의 관계

"Many studies indicate that indoor air quality is affected by outdoor air (Baek et al., 1997; Jones et al., 2000; Kuo and Shen, 2010; Meadow et al., 2014; Fung et al., 2014)." <sup>1)</sup>

- Kuo and Shen(2010)의 연구<sup>2)</sup>
  - 황사 발생 및 이후 기간 동안 대기 중 미세먼지 농도와 실내 미세먼지 농도 변화를 관측함.
  - 황사 기간 동안 오피스 건물의 실내 PM10 및 PM2.5의 농도가 미세하게 증가함.
  - 특히 환기시스템을 가동하는 시간에 실내 미세먼지 농도가 급증하는 현상을 보임.
  - 건물의 환기시스템을 통해 외기가 유입되면서 대기 중 미세먼지가 함께 유입된 것으로 추정함.



[그림] Comparison of PM2.5 concentrations in both indoor and outdoor air during dust storm (left side) and non-dust storm (right side) periods<sup>1)</sup>



[그림] Comparison of PM10 concentrations in both indoor and outdoor air during dust storm (left side) and non-dust storm (right side) periods<sup>1)</sup>

- Baek et al. (1997)의 연구<sup>3)</sup>
  - 실내·외 미세먼지 및 VOC 농도를 측정한 결과, VOC에 비해 실내·외 미세먼지 농도 간 상관관계가 높으며 이는 외부 발생원에 따른 영향인 것으로 밝힘.

1) Dennis Y. C. Leung. (2015), Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity, *Frontiers in environmental science* 2, Article 69, pp.1-7

2) Kuo, H. W., and Shen, H. Y. (2010). Indoor and outdoor PM2.5 and PM10 concentration in the air during a dust storm. *Building and Environment* 45, pp.610-614.

3) Baek, S. O., Kim, Y. S., and Perry, R. (1997). Indoor air quality in homes, offices, and restaurants in Korean urban areas - indoor/outdoor relationships. *Atmos. Environ.* 31, pp.529-544

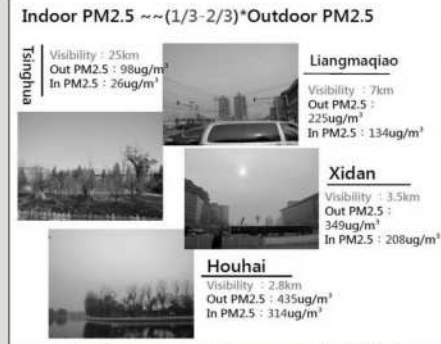
2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입

• 17

### ■ Contribution of outdoor originated particles to indoors

- Zhao et al.<sup>1)</sup>의 연구에 따르면 **실내 PM2.5 중 약 54~90%가 실외 PM2.5에서 기인**하는 것으로 밝혀짐.
  - 중국 6개 도시 (Beijing, Tianjing, Tsinghua, Liangmaqiao, Xidan, Houhai)
  - 미국 6개 도시 (California, New Jersey, Texas, Los Angeles, Winston, New York)
- 특히 **실내 미세먼지 발생원이 없고, 침기 상태의 경우 실내 PM2.5 농도는 실외 PM2.5 농도의 약 1/3 ~ 2/3**임.
  - 동일 건물에서는 Air change rate에 따라 실외 PM2.5의 실내 영향도 차이가 발생함.



[그림] 중국 도시에서 실외 PM2.5의 실내 영향도<sup>1)</sup>

[표] The average indoor PM2.5 concentration and source contribution between seasons and window statuses<sup>2)</sup>

Window status	Season	ROGs	PM2.5 concentration (μg/m³)				Outdoor PM2.5 concentration (μg/m³)	Source contribution		
			Total PM (C <sub>in</sub> )	SOA (C <sub>SOA</sub> )	IN-IN (C <sub>in-in</sub> )	IN-OUT (C <sub>in-out</sub> )		SOA	IN	OUT
Window closed	Summer	Average	42.63	0.14	19.34	23.16	76	0.32%	45.36%	54.32%
		Max	42.89	0.40	19.34	23.16		0.92%	45.09%	53.99%
		Min	42.50	0.00	19.34	23.16		0.00%	45.51%	54.49%
	Winter	Average	51.68	0.04	19.34	32.30	106	0.08%	37.42%	62.50%
		Max	51.76	0.12	19.34	32.30		0.24%	37.36%	62.40%
		Min	51.64	0.00	19.34	32.30		0.00%	37.45%	62.55%
Window open	Spring/Fall	Average	43.20	0.09	19.34	23.77	78	0.20%	44.77%	55.02%
		Max	43.37	0.26	19.34	23.77		0.60%	44.60%	54.81%
		Min	43.11	0.00	19.34	23.77		0.00%	44.86%	55.14%
	Summer	Average	70.29	0.72	3.85	65.71	76	1.02%	5.48%	93.49%
		Max	71.51	1.94	3.85	65.71		2.72%	5.39%	91.90%
		Min	69.57	0.00	3.85	65.71		0.00%	5.54%	94.46%
	Winter	Average	95.74	0.24	3.85	91.65	106	0.25%	4.02%	95.73%
		Max	96.14	0.63	3.85	91.65		0.66%	4.01%	95.34%
		Min	95.51	0.00	3.85	91.65		0.00%	4.03%	95.97%
	Spring/Fall	Average	71.77	0.47	3.85	67.44	78	0.66%	5.37%	93.97%
		Max	72.56	1.27	3.85	67.44		1.75%	5.31%	92.94%
		Min	71.30	0.00	3.85	67.44		0.00%	5.40%	94.60%

#### [분석모델 개요]

$$\frac{dC_i}{dt} = aPC_o - aC_i - KC_i + \dot{S} + S_{SOA}$$

정상 상태로 가정하면,

$$C_{in} = \frac{aP}{(a+K)} C_{out} + \frac{\dot{S}}{(a+K)} + \frac{S_{SOA}}{(a+K)}$$

외부에서 유입 실내 발생 2차생성

$$\therefore C_{in} = C_{in-out} + C_{in-in} + C_{SOA}$$

1) Bin Zhao, Impact of outdoor PM on indoor environment and its control, Keynote speech for IAQVEC 2016

2) Wenjing Ji, Bin Zhao, (2015). Contribution of outdoor-originating particles, indoor-emitted particles and indoor secondary organic aerosol (SOA) to residential indoor PM2.5 concentration: A model-based estimation, Building and environment, pp.196-205

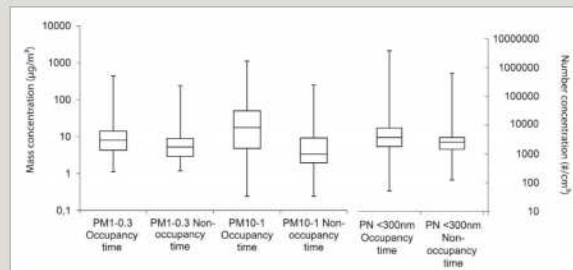
2019 AURI 건축도시포럼

## 실내에서 발생하는 미세먼지

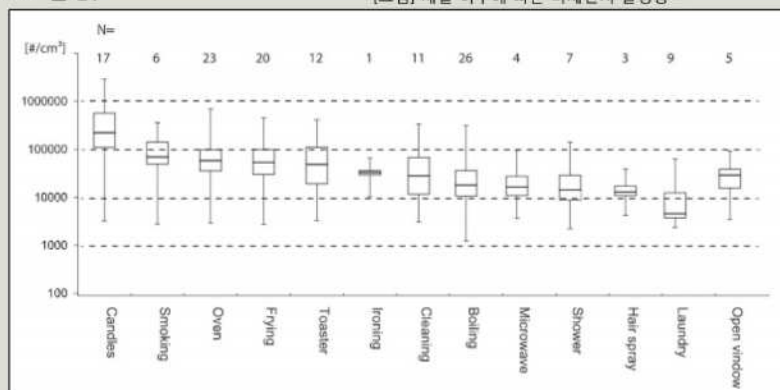
• 18

### ■ 실내 미세먼지 발생원

- 연소(흡연, 조리, 향초 등), 재실자 행동(재실자 여부, 샤워, 빨래 등), 청소(진공청소기 사용, 먼지떨기)등에 의해 미세먼지 발생
- 발생 입자의 크기
  - 발생원인에 따라 다양한 크기의 입자 발생 (Coarse, Fine & Ultrafine particles 발생)



[그림] 재실 여부에 따른 미세먼지 발생량<sup>1)</sup>



1) C. Isaxon et al. (2015). Contribution of indoor-generated particles to residential exposure, Atmospheric Environment 106, pp.458-466.

[그림] 다양한 활동에 의한 Ultrafine particle 발생량<sup>1)</sup>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망





2019 AURI 건축도시포럼

## 실내에서 발생하는 미세먼지

• 19

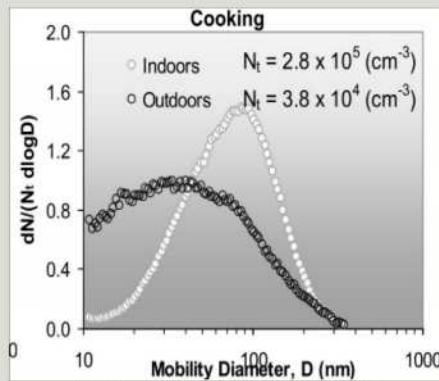
### ■ 연소(조리)에 의한 미세먼지 발생

#### • 발생 입자의 크기

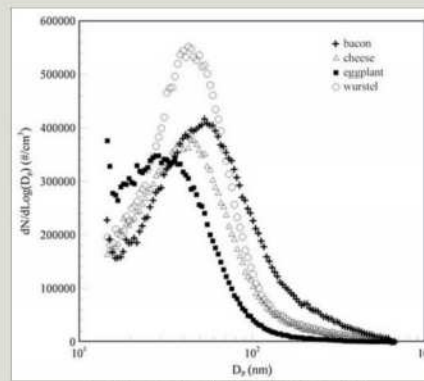
- $0.5\mu\text{m}$  이하의 **Fine Particle** 및 **Ultra Fine Particle** 발생 (주로 발생하는 입자 크기는  $0.08 \sim 0.1\mu\text{m}$ )

#### • 입자 발생관련 영향 인자

- 연소기구 종류 및 연료
- 조리방법 (굽기, 튀기기, 끓이기 등) 및 조리온도
- 음식재료 (종류, 양) 및 지방함유량 등



[그림] 조리과정에서 발생하는 입경분포<sup>1)</sup>



[그림] 조리재료에 따른 미세먼지 발생<sup>2)</sup>

1) Diapouli E. (2011). Indoor and outdoor particle number and mass concentrations in Athens, sources, sinks and variability of aerosol parameters. *Aerosol and Air Quality Research* 11, 632-642.  
2) Buonanno G., Morawska L., & Stabile L. (2009). Particle emission factors during cooking activities. *Atmospheric Environment* 43(20), pp.3235-3242.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 실내에서 발생하는 미세먼지

• 20

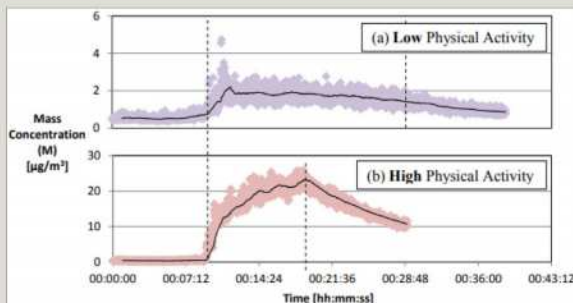
### ■ 재실자 행동에 의한 미세먼지 발생

#### • 발생 입자의 크기

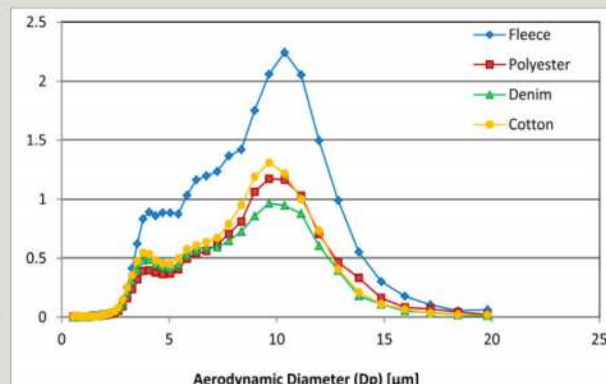
- $1.0\mu\text{m}$  이상의 **Fine Particle** 및 **Coarse Particle** 발생 (주로 발생하는 입자 크기는  $2.5\mu\text{m}$  이상)

#### • 입자 발생관련 영향 인자

- 재실자 활동 강도 및 재실자 수
- 먼지의 Loading 량 (바닥)



[그림] 재실자 행동 강도에 따른 미세먼지 발생량<sup>1)</sup>



[그림] 재실자 의복 종류에 따른 미세먼지 발생량<sup>1)</sup>

1) McDonagh, A. & Byrne, MA. (2014). The influence of human physical activity and contaminated clothing type on particle resuspension. *Journal of Environmental Radioactivity* 127, pp.119-126.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

### 3. 실내 미세먼지 농도 저감을 위한 제안

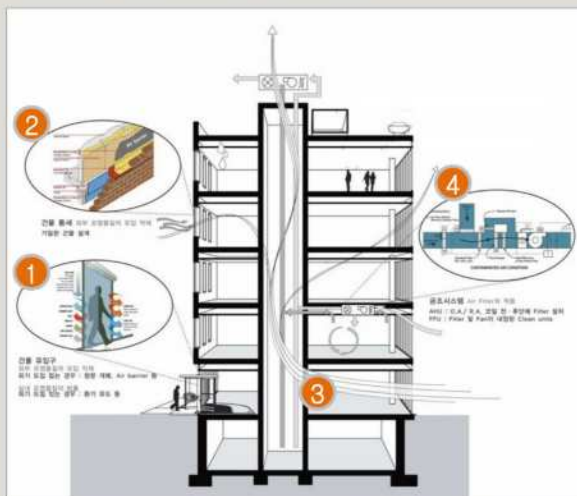
2019 AURI 건축도시포럼

#### 실내 미세먼지 농도 저감을 위한 제안

• 22

##### ■ 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감을 위한 대안 설정

- 실외 환경에 따른 주요 외기유입 지점별 대안 설정
  - 주차출입구, 창문 및 로비 출입구 등으로 유입되는 공기가 샤프트를 통해 확산되어 실내 미세먼지 농도가 악화되는 것을 1차적으로 방지함.



[그림] 실외 미세먼지 오염도에 따라 적용 가능한 대안 설정

1	건물 출입구 • 로비출입구 • 상가출입구 • 주차출입구	외기오염도 낮음	• 자연개폐
		외기오염도 높음	• Air curtain, 자동문, 셔터 등을 활용한 외기 유입 차단
2	건물 외피 • 창문 균열 • 벽체 결함부 • 외피 접합부	외기오염도 낮음	• 창문의 자연개폐
		외기오염도 높음	• 외기 센서를 이용한 자동개폐 • 틈새부위 기밀화
3	샤프트 공간 • 엘리베이터 • 주차타워	외기오염도 높음	• 엘리베이터 문의 기밀화를 통한 외기 오염 물질 수직확산 방지
4	공조시스템	외기오염도 낮음	• 직접 외기를 도입
		외기오염도 높음	• 필터를 통해 외기 오염 물질 제거한 뒤, 외기를 도입

\* 이미지 출처

1) Indoor Air quality guide, ASHRAE, 2009, pp.33-35 그림을 재구성하였음.

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망





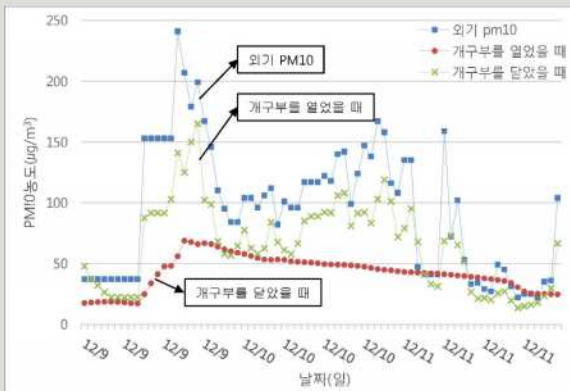
2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감

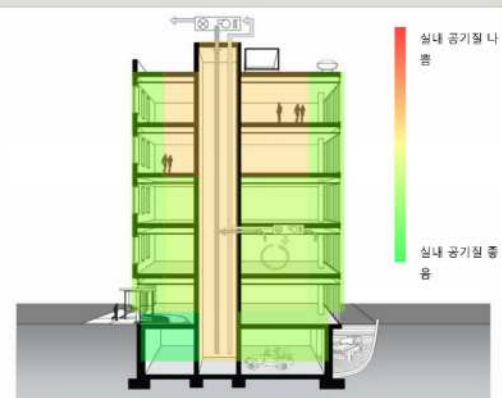
• 23

### ■ 대안(1)\_ 개구부 개폐여부에 따른 실내 미세먼지 농도 저감 효과

- 건물에서 **대기 오염도가 높은 시기에 자연 환기 또는 기계 환기를 실시할 경우**, 실내 미세먼지 농도가 급격히 높아질 수 있음. **대기 중 미세먼지가 필터 등으로 인해 제거되지 못하고 그대로 유입되기 때문임.**
- 외기의 출입이 잦은 공간에서는 **개구부를 닫는 것만으로도 실내 미세먼지 농도를 저감시킬 수 있음.**
- 다만 개구부를 닫는 것만으로 건물 전체의 실내 미세먼지 농도를 기준 이하로 유지하기 어렵기 때문에 추가적인 필터의 도입 또는 기밀화 작업이 요구됨.



[그림] 개구부 개폐 여부에 따른 실내 미세먼지 농도 변화(시뮬레이션 결과)



[그림] 필터 도입 및 기밀화 작업을 통한 실내 공기질 개선

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

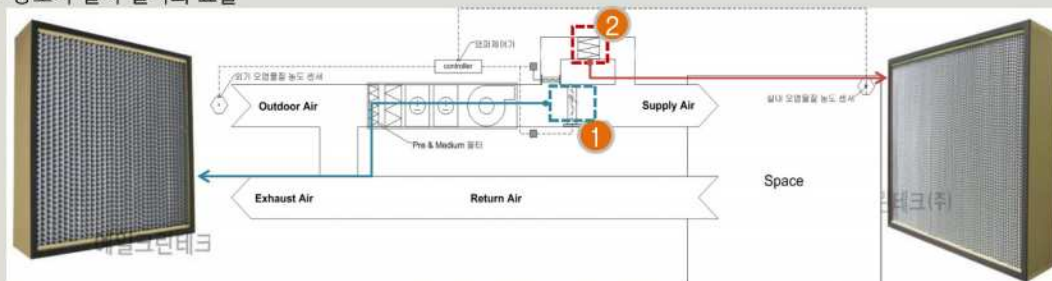
2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감

• 24

### ■ 대안(2)\_ 대기 중 미세먼지 농도에 따른 By pass 시스템 적용 (Active control)

- 공조기 설치 필터의 효율

[그림] AHU 모드별 Air filter system<sup>1)</sup>

#### Filter Mode 1. 일반 에어필터 (Pre + Medium filter)

- 일반 건물의 공조기 에어필터의 경우 포집효율 (60~90%)의 미디엄필터와 미디엄필터를 위한 전처리 필터인 프리필터로 구성
- 실제 현장에 적용된 에어필터의 성능의 경우 시험장치 측정된 필터성능과 큰 차이를 보임<sup>1)</sup>

#### Filter Mode 2. 고성능 필터 (HEPA급)

- HEPA(High Efficiency Particulate Air) 필터의 적용
- **포집효율 99%의 고성능 여과 필터**로 주로 클린룸과 같이 고도의 청정공간에 사용
- 팬 동력 증가에 의한 공조 에너지 증가의 우려가 있으나 대체 가능한 적정 고성능 필터의 부재
- 에어필터와 HEPA급 필터 사이의 효율을 갖는 적정 성능 필터의 개발이 요구됨

1) 2004. 현장측정에 의한 공기조화기 에어필터의 성능 평가, 정용호 외 2인  
2) 이미지 출처 : <http://www.yeillct.co.kr/>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감

• 25

### ■ 대안(2)\_ 대기 중 미세먼지 농도에 따른 By pass 시스템 적용 (Active control)

- 공조시스템을 통한 대기 중 미세먼지 유입을 차단하기 위해 AHU의 O.A.에 설치된 필터 모드를 변환하는 가변 덕트(By pass system)를 제안함.

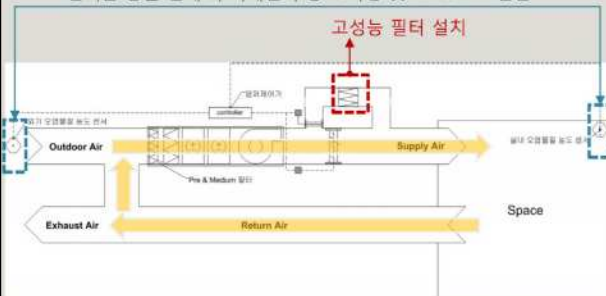
- Ex) 황사 발생, 주변에서의 공사 등으로 인해 PM10의 실내 유입이 많을 때,

#### ▶ AHU의 O.A.에 설치된 필터의 모드 변환

→ Mode 1 (일반적인 상황) : 신선 외기 유입

Mode 2 (오염물질의 유입을 차단해야 하는 상황) : 바이패스 덕트에 설치된 고성능 필터를 활용하여 외기 미세먼지 유입을 차단

센서를 통한 실내·외 미세먼지 농도 측정 및 AHU 모드 판단



[그림] Mode 1일 때의 외기 유입 개념도



[그림] Mode 2일 때의 외기 유입 개념도

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

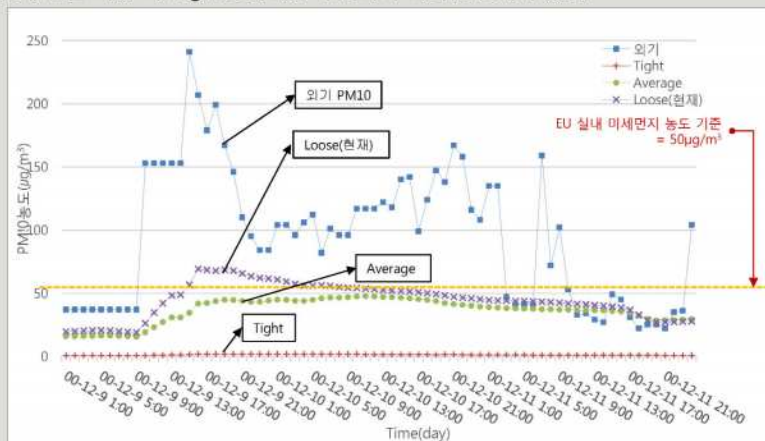
2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감

• 26

### ■ 대안(3)\_ 건물의 기밀성능 향상을 통한 미세먼지 유입 차단

- 시뮬레이션 모델을 활용하여 건물의 기밀성능(외벽 누기 면적)을 Tight, Average, Loose한 상태로 구분한 뒤 실내 미세먼지 농도 변화를 추정함.
- 건물의 기밀성능을 Tight한 상태로 조정하면 경우, 대기 중 미세먼지 실내 유입 저감으로 인해 평균 실내 미세먼지 농도가 감소하는 것으로 나타남.
- 실제 건물 시공 시, Tight한 상태를 구현하기 어려운 한계가 있음.



[그림] 건물 기밀성능 변화에 따른 실내 미세먼지 농도 변화

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

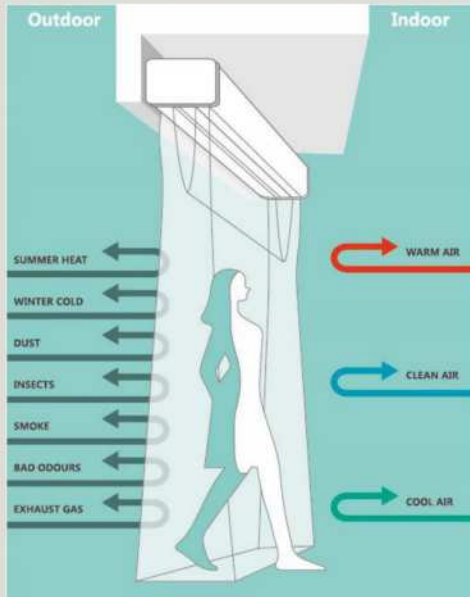


2019 AURI 건축도시포럼

## 대기 중 미세먼지의 실내 유입 저감

• 27

### ■ 대안(4)\_ 개구부 개폐여부에 따른 실내 미세먼지 농도 저감 효과



[그림] Air curtain을 활용한 대기 중 미세먼지 유입 차단

#### Window screens

- World's first nanofiber applied high-performance window screen system to enhance indoor air quality by filtering out fine particulates from outdoor air.

Clean indoor air quality can be achieved with Finetex EnE's Window Screen as it filters out ultrafine dust particles (PM<sub>2.5</sub>) from outdoor air, which are not visible with naked eye, and small enough to penetrate to the human lungs to develop various respiratory diseases. Nanofiber window screen's dense network of pores are small enough to filter out ultra-fine dust, yellow dust, pollen, insects and other pollutants while large enough to have excellent air flow.



[그림] 창문설치형 필터를 활용한 미세먼지 제거

- [http://www.thedoor.com.cn/en/ProductCenter/Pro\\_Detail.aspx?catid=10-23-115-101-3261](http://www.thedoor.com.cn/en/ProductCenter/Pro_Detail.aspx?catid=10-23-115-101-3261)
- <http://www.ftene.com/product/b2c3.php>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

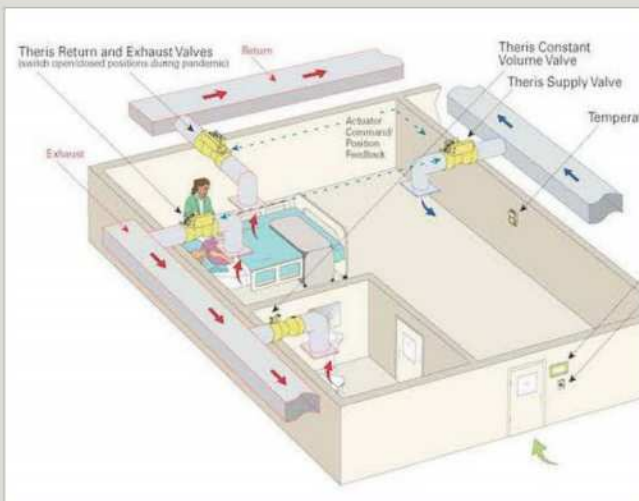
2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 발생 제어

• 28

### ■ 대안(1)\_ 국부 환기를 통한 미세먼지 제거: 급기/배기구 설계

- 주방 등 미세먼지 발생원 부근에 배기구를 설치하여 발생하는 미세먼지를 1차적으로 제거함.
- Air Curtain을 활용하여 실내에서 발생하는 미세먼지 확산을 차단함.



[그림] Critical Patient Care - Airflow and Pressure Controls<sup>1)</sup>



[그림] Air curtain을 활용한 미세먼지 확산 방지<sup>2)</sup>

- <http://www.airtelligence.com/markets-served/hospitals> 이미지 사용
- <https://ifworlddesignguide.com/entry/226746-laundry-air-curtain>

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망



2019 AURI 건축도시포럼

## 실내 미세먼지 발생 제어

• 29

### ■ 대안(2)\_ 공기정화 시스템을 활용한 실내 미세먼지 제거

- IoT 시스템을 활용한 실내공기환경 평가 및 오염도에 따라 **실내 공기정화 시스템** 운전 여부를 결정함.
- 실내·외 공기환경 오염도 진단을 통해 적정 환기시점을 알림.



[그림] 필터시스템과 IoT 시스템 결합이 적용된 아파트 예<sup>1)</sup>

- 1) <http://www.etoday.co.kr/news/section/newsview.php?dxno=1502499> 이미지 사용  
2) <https://shop.uplus.co.kr/pc/lot/product?productId=IoT1000010> 이미지 사용

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망

2019 AURI 건축도시포럼

• 30

# 경청해 주셔서 감사합니다.

66 Raon-ro, Sejong Metropolitan Autonomous City, 30065, Korea  
PHONE: 82-44-902-9156 FAX: 82-44-902-9140  
E-Mail: [bhlee@lh.or.kr](mailto:bhlee@lh.or.kr)

**Byung Hee Lee**  
Assistant Research Fellow/ Ph.D.  
Land & Housing Institute / Center for Housing Environment Research and Innovation

실내 미세먼지 환경 개선을 위한 국내·외 연구동향과 전망



MEMO	
------	--

MEMO	
------	--

MEMO	
------	--

MEMO	
------	--



MEMO	
------	--

MEMO	
------	--

MEMO	
------	--

MEMO	
------	--



MEMO	
------	--