

미세먼지 실내노출이 호흡기 질환에 미치는 영향: 정책 제안

연세대학교 의과대학 예방의학교실

김경남 교수

연구 설계 개요

- 하기도 질환 환자를 대상으로 한 실내 공기질 관리 가이드라인(안) 제시 방안

01.	체계적 문헌고찰 수행
02.	근거 우선순위 설정
03.	오염물질 병태생리 검토
04.	목표치 도출
05.	행동 권고 설계

01. 체계적 문헌고찰 수행

Participants (대상)	만성폐쇄성폐질환(COPD) 또는 특발성 폐섬유증(IPF)으로 진단받은 환자(성인)
Intervention (중재)	환자가 가정 내에서 스스로 적용할 수 있는 비약물적 실내 공기질 개선 중재 (e.g. 공기정화, 환기 전략, 발생원 제어 등)
Comparison (비교)	중재가 제공되지 않는 통상적 관리 환경 또는 중재 없음
Outcomes (결과)	<ul style="list-style-type: none">임상적 지표: 급성 악화(Acute Exacerbation) 빈도, 호흡기 증상 점수(SGRQ*, CAT** 등), 폐기능(FEV₁, FVC), 입원률, 사망률 등환경적 지표: 중재 적용 전후 실내 공기오염물질(PM_{2.5}, NO₂, CO₂ 등) 농도의 정량적 변화

*SGRQ: St. George's Respiratory Questionnaire; **CAT: COPD Assessment Test

02. 근거 우선순위 확립

① 캐나다 보건부 (Health Canada)의 주거용 실내 공기질 가이드라인(RIAGs: Residential Indoor Air quality Guidelines)

→ 임상적으로 취약한 집단을 고려한 보수적 기준

- ✓ 민감집단(노인, 천식·COPD, 심혈관·호흡기 질환 환자 등) 보호가 목적
- ✓ WHO AQG(후술)와 차이: “인구 전체 평균의 위험 감소”가 목적이 아님

→ 실외 공기질을 중심으로 다룬 WHO AQG(2021)과의 차이점

- ✓ 주거환경(residential setting) 가정
- ✓ 실내 주요 오염원(조리, 난방, 건축자재, 환기 부족 등) 고려
- ✓ 단기(Acute)·장기(Chronic) 노출 기준 구분

→ 실내 체류 시간이 높은 하기도 질환 환자에 적용하기 적합

→ 표치 설정에 있어 가장 우선되는 건강 기반

The screenshot shows the title page and a list of contaminants from the 'Residential indoor air quality guidelines' document. The title is 'GUIDANCE FOR FINE PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) IN RESIDENTIAL INDOOR AIR'. The document is published by Health Canada (Canada Santé Canada) with the motto 'Your health and safety... our priority'. The background section defines PM_{2.5} as fine particulate matter with an aerodynamic diameter of 2.5 µm or less. The exposure section notes that indoor PM_{2.5} is composed of indoor-generated PM_{2.5} from sources like smoking, cooking, and cleaning, and that it has infiltrated from the outside. The health effects section states that outdoor PM_{2.5} is strongly associated with cardiovascular and respiratory mortality and morbidity, and that there is no recognized threshold of health effects for outdoor PM_{2.5} regardless of where exposure occurs. A note at the bottom states that a much smaller number of studies have investigated the relationship between indoor PM_{2.5} and health, with some evidence for a relationship between indoor PM_{2.5} levels and declines in lung function and increases in exhaled nitric oxide, a marker of airway inflammation, in asthmatic children (Koenig et al. 2003; Delfino et al.).

Residential indoor air quality guidelines

The Residential Indoor Air Quality Guidelines present recommended exposure limits (also called guideline values) for contaminants. The exposure limits represent the concentration of indoor air contaminants below which health effects are unlikely to occur. The guidelines include:

- long-term exposure limits
 - for health problems that can occur from continuous or repeated exposure over several months or years
- short-term exposure limits
 - for health problems that can occur immediately after a brief exposure

We have developed guidelines for specific indoor air contaminants. This list shows the recommended exposure limit for the sampling time (in brackets):

- **acetaldehyde**
 - long-term exposure limit (24 hours): 280 µg/m³ (157 ppb)
 - short-term exposure limit (1 hour): 1420 µg/m³ (795 ppb)
- **acrolein**
 - long-term exposure limit (24 hours): 0.44 µg/m³
 - short-term exposure limit (1 hour): 38 µg/m³
- **carbon dioxide**
 - long-term exposure limit (24 hours): 1800 mg/m³ (1000 ppm)
- **carbon monoxide**
 - long-term exposure limit (24 hours): 11.5 mg/m³ (10 ppm)
 - short-term exposure limit (1 hour): 28.6 mg/m³ (25 ppm)
- **formaldehyde**
 - long-term exposure limit (8 hours): 50 µg/m³ (40 ppb)
 - short-term exposure limit (1 hour): 123 µg/m³ (100 ppb)
- **naphthalene**
 - long-term exposure limit (24 hours): 10 µg/m³ (1.9 ppb)
- **nitrogen dioxide**
 - long-term exposure limit (24 hours): 20 µg/m³ (11 ppb)
 - short-term exposure limit (1 hour): 170 µg/m³ (90 ppb)
- **ozone**
 - long-term exposure limit (8 hours): 40 µg/m³ (20 ppb)
- **radon**
 - exposure limit 200 Bq/m³
- **toluene**
 - long-term exposure limit (24 hours): 2.3 mg/m³ (0.6 ppm)
 - short-term exposure limit (8 hours): 15 mg/m³ (4.0 ppm)
- **xylenes**
 - long-term exposure limit: (24 hours): 150 µg/m³ (36 ppb)
 - short-term exposure limit: (1 hour): 7 200 µg/m³ (1 700 ppb)

*You can request the science assessments on which these exposure limits are based.

02. 근거 우선순위 확립

② 국내 『실내공기질 관리법』 및 환경부 『대기환경 예보 등급』

국내 『실내공기질 관리법』에서는 다중이용시설에 대한 최소 기준을 제시함

→ 민감군 시설 기준(의료기관, 노인전문요양시설 등)을 최소한의 건강 보호 기준으로 설정

→ 다만, 이는 주거 공간에 적용되지 않음

환경부 『대기환경 예보 등급』에서 ‘나쁨’ 예보 등급

→ 즉각적 행동을 취하도록 지정된 법규로 ‘즉시 목표’ 설정의 근거로 활용될 수 있음

● 미세먼지 예보 등급

예보구간	좋음	보통	나쁨	매우나쁨
예측농도(μm^3) - PM ₁₀	0~30 μm^3	31~80 μm^3	81~150 μm^3	151 μm^3 이상
예측농도(μm^3) - PM ₂₅	0~15 μm^3	16~35 μm^3	36~75 μm^3	76 μm^3 이상
예측농도(ppm) - O ₃	0~0.0300	0.0301~0.0900	0.0901~0.1500	0.1500 초과

그림 02. 국내 미세먼지 예보등급
(국민재난안전포털)

[별표 2] <개정 2011.12.19>
실내공기질 유지기준(제3조 관련)

오염물질 항목	미세먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)
다중이용시설					
지하역사, 지하도상가, 여객자동차 터미널의 대합실, 철도역사의 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만 시설 중 대합실, 도서관·박물관 및 미술관, 장례식장, 목욕장, 대규모점포, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업 영업시설	150 이하	1,000 이하	100 이하		10 이하
의료기관, 보육시설, 국공립 노인요양시설 및 노인전문병원, 산후조리원	100 이하			800 이하	
실내주차장	200 이하				25 이하

비 고: 도서관, 영화상영관, 학원, 인터넷컴퓨터게임시설제공업 영업시설 중 자연환기가 불가능하여 자연환기설비 또는 기계환기설비를 이용하는 경우에는 이산화탄소의 기준을 1,500ppm 이하로 한다.

[별표 3] <개정 2011.12.19>
실내공기질 권고기준(제4조 관련)

오염물질 항목	이산화질소 (ppm)	라돈 (Bq/ m^3)	총휘발성유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
다중이용시설					
지하역사, 지하도상가, 여객자동차 터미널의 대합실, 철도역사의 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만 시설 중 대합실, 도서관·박물관 및 미술관, 장례식장, 목욕장, 대규모점포, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업 영업시설	0.05 이하	148 이하	500 이하	0.01 이하	0.06 이하
의료기관, 보육시설, 국공립 노인요양시설 및 노인전문병원, 산후조리원			400 이하		
실내주차장	0.30 이하		1,000 이하		0.08 이하

비 고: 총휘발성유기화합물의 정의는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제3호에 따른 환경오염공정시험기준에서 정한다.

그림 01. 국내 실내 공기질 유지기준

02. 근거 우선순위 확립

③ WHO(World Health Organization) AQG(global-Air Quality Guideline) 2021

전세계적으로 가장 권위 있는 기준으로, 개방된 대기 환경(Ambient air)을 대상으로 설정

→ 복합적 오염원이 존재하는 **밀폐된 실내 주거 환경에 적용하기에는 한계점이 존재**

“**공기오염에는 인체에 무해한 ‘안전한 하한선 (Safe Threshold)’은 존재하지 않는다**”를 명시함

… *existing evidence generally supports a linear or supralinear, no-threshold relationship for the pollutant-outcome pairs*



그림 03. WHO AQG 2021

국내 기준의 한계를 인식하고, 캐나다 RIAGs 및 WHO 기준을 바탕으로
현실적으로 달성 가능한 실내기준 목표를 설정

03. 환자 행동 권고 도출

❖ 단순 설정 목표치 제시만으로는 환자의 건강 보호를 달성하기에 한계 존재

→ 환자가 일상생활에서 해당 목표치를 달성할 수 있도록, 과학적 근거에 기반한 ‘실천적 중재’ 도출 과정의 필요성

→ ‘무엇을 해야 하는지’ 보다는 ‘어떻게 실천하는지’에 초점을 맞추어 제시

• 체계적 문헌 고찰을 통해 선정된 문헌 중, 실제 환자를 대상으로 수행된 **비약물적 중재연구**를 심층 고찰

• 주목적: 각 중재법이 ① 실제 오염물질 저감에 유효한지, ② 환자의 건강 결과를 유의미하게 개선하는지

✓ **공기 정화 중재**: 단순 사용 규격 (Clean Air Delivery Rate, CADR), 배치 위치, 가동 시간, 필터 관리 등

✓ **환기 전략 중재**: 자연환기, 기계식 환기의 효과, 실외 공기질에 따른 ‘선별적 환기’의 필요성

✓ **발생원 제어 중재**: 가스레인지에서 전기레인지(인덕션)로의 교체, 조리 시 후드 사용, 실내 흡연 금지, 향초 및 방향제 사용 자제

04. 가이드라인(안) 기본 제안

저농도 관리 및 ALARA* 원칙

실내 오염물질 농도는 가능한 가장 낮은 기준으로 유지하는 것을 원칙으로 함

- ALARA(As Low as Reasonably Achievable)* 원칙
- 환자 보호를 최우선으로 하는 예방적 관리 개념
- 완전한 무노출이 아닌, 임상적으로 취약한 환자 보호를 위해 가능한 낮게 유지

공통 목표치 설정

질환 특성상 공기오염에 민감한 환자군을 포괄적으로 보호할 수 있는 공통 관리 목표치 적용

- COPD, IPF 등 하기도 질환별로 임계치를 별도로 설정하지 않음
- 현장 적용의 일관성과 관리 효율성 극대화

이원화 목표 제시

즉시 목표와 유지 목표의 이원화 체계

- **즉시 목표**(단기 대응 기준): 오염물질 특성에 따라 단기간 급격한 농도 상승에 따른 증상 악화를 예방
- **유지 목표**(상시 관리 기준): 장기적·만성적 노출로 인한 건강영향을 최소화
- 일회성 대응이 아닌, 지속적 환경 관리

05. 목표치 설정 근거

오염 인자	병태생리학적 특성
PM _{2.5}	<ul style="list-style-type: none"> 지름이 2.5 이하로 매우 작아 코와 기관지에 걸러지지 못하고 폐포 깊숙이 침투함 (Xiang et al., 2016). 폐포에 침착된 PM_{2.5}는 대식세포를 자극하여 염증성 사이토카인 분비를 촉진 시키며, 특히 COPD 환자의 만성 염증을 더욱 악화시켜 호흡곤란을 유발시킴 (Hamanaka et al., 2025). 폐포 모세혈관을 통해 혈류로 유입되어 전신 염증 반응을 일으킴.
PM ₁₀	<ul style="list-style-type: none"> 주로 상기도와 큰 기관지에 침착되어 물리적 자극을 주어 기침, 가래 증가, 기관지 수축을 유발함 (Choi et al., 2020).
NO ₂	<ul style="list-style-type: none"> 강력한 산화제로서 기도 점막과 폐 조직에 직접적 산화 손상을 입힘. 특히 활성산소에 취약한 IPF 환자의 경우, NO₂ 노출이 폐섬유화 진행 속도를 가속화 할 수 있어 치명적임 (Yoon et al., 2023; Mariscal-Aguilar et al., 2024; Johannson et al., 2014).
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> 그 자체가 독성을 가지기 보다는, '환기 부족'을 알리는 지표로서 활용될 수 있음. CO₂ 농도가 높으면 환기가 되지 않아 라돈, 바이러스 등 다른 유해물질도 함께 축적되어 있다는 신호임 (Lowther et al., 2021).

오염 인자	병태생리학적 특성
HCHO	<ul style="list-style-type: none"> 새집증후군의 원인 물질로도 나타나며 저농도 노출에도 장기간 노출 시 눈, 코, 목의 점막을 지속적으로 자극 시킬 수 있음 (Tian et al., 2022).
TVOC	<ul style="list-style-type: none"> 기도 염증을 유발하여 기존의 호흡기 질환 증상을 악화시키고, 장기적으로는 폐기능 저하에 기여할 수 있음 (Phillips et al., 2014).
CO	<ul style="list-style-type: none"> 혈액 내 헤모글로빈과 결합하여 산소 운반 능력을 급격히 감소시킴 (Raub et al., 2000). 이미 폐기능 저하로 저산소증을 겪기 쉬운 COPD·IPF 환자에게는 소량 노출도 치명적인 조직 저산소증을 유발할 수 있음 (Tian et al., 2014).
O ₃	<ul style="list-style-type: none"> 여름철 실외에서 유입되어 매우 강력한 산화 및 자극제가 됨. 기도 수축을 유발하고 기도 과민성을 높여 천식 발작이나 COPD 급성 악화의 주요 원인으로 제기됨 (Wiegman et al., 2020).
습도	<ul style="list-style-type: none"> 습도 자체가 오염물질이 되지는 않으나, 70% 이상의 높은 습도에 노출될 경우, 곰팡이나 집먼지진드기가 번식하여 알레르기 반응 및 기도 염증을 유발시킴. 반대로 30% 미만의 낮은 습도에 노출될 경우, 기도 점막이 건조해져 바이러스 방어 능력이 떨어지고 감염 위험이 증가함 (Derby et al., 2017).

05. 목표치 설정

PM_{2.5}

즉시 목표

- 환경부 예보 등급 '나쁨'으로 넘어가는 임계점으로 설정
- 수치에 도달하면 즉시 환기를 중단하고 공기청정기를 최대한 가동해야 하는 '행동 개시' 기준으로 설정됨

유지 목표

- 캐나다 보건부의 『주거용 실내 공기질 가이드라인』 기준을 채택
- WHO의 '실외' 24시간 기준보다 더 엄격하며, 환자 보호를 위한 '유지 목표'로 제시

PM₁₀

즉시 목표

- 국내 『실내공기질 관리법』 상 민감계층 이용시설의 유지 기준 이자, 환경부 예보 등급인 '나쁨'으로 넘어가는 임계점으로 설정
- 급성 기도 자극을 예방하기 위한 '행동 개시' 기준으로 설정됨

유지 목표

- WHO AQG 2021의 '실외' 24시간 권고기준을 채택
- 기도 자극 및 기침 유발을 최소화하기 위한 '유지 목표'로 제시

05. 목표치 설정

NO₂

즉시 목표

- 캐나다 보건부에서는 1시간 평균을 90ppb로 제안
국내 실내 공기질 권고는 보다 낮은 기준치를 제시
→ 국내 1시간 '권고' 기준을 기반으로 즉시 행동해야 하는
'즉시 목표'로 제안

유지 목표

- 캐나다 보건부의 '실내'의 주요 발생원(가스레인지)을 고려해
24시간 기준으로 설정
- WHO '실외' 기준인 13ppb와 유사함

CO₂

즉시 및 유지 목표

- Health Canada 및 ASHRAE 등 글로벌 표준과 국내 『실내공기
질 관리법』 상 다중이용시설 및 민감계층 이용시설 유지
기준에서 '환기 부족'으로 간주되는 임계값
- 해당 수치 초과 시 즉각 환기가 필요한 수치로 간주

05. 목표치 설정

HCHO

즉시 목표

- 국내 『실내공기질 관리법』 상 다중이용시설 및 민감계층 이용시설 유지 기준 준용

유지 목표

- 캐나다 보건부에서 8시간 장기 노출 기준으로 제시
- 저농도 장기 노출에 의한 건강영향을 예방하는 목표로 설정

TVOC

즉시 목표

- 국내 『실내공기질 관리법』 상 다중이용시설 권고 기준을 ‘즉시 목표’로 설정
- 국외 기준 실내 공기질 지표로 명시되지 않음

유지 목표

- 국내 『실내공기질 관리법』 상 민감계층 이용시설 권고 기준 준용
- 상시적 노출을 최소화하기 위한 목표로 설정

05. 목표치 설정

CO

즉시 목표

- Health Canada 및 WHO의 1시간 급성 노출 기준으로 즉각적 환기 권고 기준임

유지 목표

- 국내 『실내공기질 관리법』 상 다중이용시설 및 민감계층 이용 시설 ‘유지 기준’ 준용

O₃

즉시 목표

- 주로 실외에서 유입되며, 국내 『대기환경보존법』 기준 실외 오존 농도가 주의보에 근접하는 수치
→ 모든 환기 중단의 ‘행동 기준’으로 설정

유지 목표

- WHO AQG 2021 8시간 평균 노출 기준값 준용

습도

즉시 및 유지 목표

- 국내 『건축물의 에너지절약설계기준』 상 병원(병실)의 상대습도 ‘유지 기준’ 준용

05. 목표치 설정

: 하기도 질환 환자 대상 건강 보호를 위하여 2단계의 실내 공기질 관리 목표치(안)을 제시함.

물질	실내 '즉시' 목표 (즉각 행동 기준, 1H 이내 회복 권고)	실내 '유지' 목표 (24h 평균, 상시 관리 기준)	근거
PM _{2.5} [µg/m ³]	35	≤10	(즉시) 국내 미세먼지 예보 기준; (유지) Health Canada RIAGs
PM ₁₀ [µg/m ³]	75	≤45	(즉시) 국내 실내공기질 [민감] 관리법 기준; (유지) WHO AQG 2021
NO ₂ [ppm]	0.06	≤0.011	(즉시) 국내 실내공기질 관리법 기준; (유지) Health Canada RIAGs
CO ₂ [ppm]	1,000 (가능한 최저로 유지)		국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준; Health Canada RIAGs; ASHRAE
HCHO [ppb]	80	≤40 (8h 평균)	(즉시) 국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준; (유지) Health Canada RIAGs
TVOC [µg/m ³]	500	≤400	(즉시) 국내 실내공기질 [다중] 관리법 기준; (유지) 국내 실내공기질 [민감] 관리 기준
CO [ppm]	25	≤9	(즉시) Health Canada RIAGs 및 WHO AQG 2021; (유지) 국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준
O ₃ [ppb]	100	≤50 (8h 평균)	(즉시) 국내 대기환경보전법 기준; (유지) WHO AQG 2021
상대습도 [%]	50 (적정범위 유지)		국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준 [별표8]

실내 공기오염물질 단계별 목표치(안)

06. 행동 권고 설계

: 대상자들의 생활 속 **실내 공기질 목표치 달성** 및 **질한 악화의 효과적인 예방**을 위하여 문헌고찰을 수행

: 임상적 유효성이 입증된 구체적이고 실천적인 행동 요령을 도출

① 질환별 핵심 취약성 기반 맞춤 행동 권고

대상자 특성	핵심 취약성	맞춤형 제안 행동 권고
<p>COPD (만성폐쇄성질환)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 손상된 기도 점막으로 인해 PM_{2.5}, O₃ 등 외부 자극에 극도로 민감하게 반응하여 즉각적인 기도 수축과 염증 폭발을 일으킴 (Anderson et al., 2012; Chi et al., 2019; Hart et al., 2018) ✓ 이는 입원 및 사망으로 직결되는 ‘급성 악화’의 주된 원인임 	<p>➤ [환기 시스템 활용] 실외 PM_{2.5}나 O₃ 농도가 ‘양호’일 때는 자연환기를 시행하도록 권고하며, 환기 자동화가 필요한 경우 센서 기반 스마트 환기 시스템* 도입을 고려할 수 있음 (WHO, 2021; ASHRAE; Chen&Zhao., 2011)</p> <p><i>*스마트 환기: 센서와 AI를 활용해 실내공기질(IAQ)을 자동·지능형으로 제어하는 방식</i></p>
<p>IPF (특발성폐섬유증)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 섬유화가 진행 중인 폐조직은 활성산소종(ROS)에 의해 산화 손상에 대한 방어 능력이 거의 없음 ✓ 가스 연소 시 발생하는 NO₂는 강력한 산화제로서 폐포를 직접 공격하여 비가역적인 섬유화 진행 속도를 가속화 함 (Tomos et al., 2021; Luo et al., 2025; Johannson et al., 2014) 	<p>➤ [조리 열원 완전 교체] 가정 내 NO₂ 발생원인 가스레인지 사용을 제거하도록 권고함 (Health Canada, 2015; Basu et al., 1999; Norrie., 2024)</p>

06. 행동 권고 설계

② 공통 핵심 행동 방안: 질환 공통으로 실천해야 할 핵심 방안 제시

1) 고성능 공기청정기 상시 가동 전략 (Hansel et al., 2022; Dubey et al., 2021)

: 중등도~중증의 COPD 환자 116명 대상 6개월간 무작위 대조 시험 연구 시행한 결과, H13 등급 이상의 헤파(HEPA) 필터가 장착된 공기청정기를 사용한 중재군은 모의 필터를 사용한 대조군 대비 6개월 후 실내 PM_{2.5} 농도가 평균 53.5%, NO₂ 농도 20% 이상 유의미하게 저감

: 또한, 6개월 후 환자의 호흡기 삶의 질 측정 핵심 지표 ‘세인트 조시 호흡기 설문지(St. George’s Respiratory Questionnaire, SGRQ)’ 총점이 대조군 대비 **유의미하게 개선**

: 입원 또는 응급실 방문의 지표로 ‘중등도 급성 악화’ 발생률 또한 대조군 대비 0.32배 **유의미하게 감소**하였으며, BCSS(Breathlessness, Cough, and Sputum Scale, 호흡곤란, 기침, 가래 정도 평가) 점수 및 약물치료 비율 또한 **유의미하게 개선**됨

H13 등급 이상의 헤파 필터와 실제 사용 면적의 일정 이상의 용량(Clean Air Delivery Rate, CADR)을 갖춘 제품을 선택하여, 환자가 주로 머무는 침실과 거실에서 가동할 수 있게 권고
(U.S. EPA. Guide to Air Cleaners in the Home.)

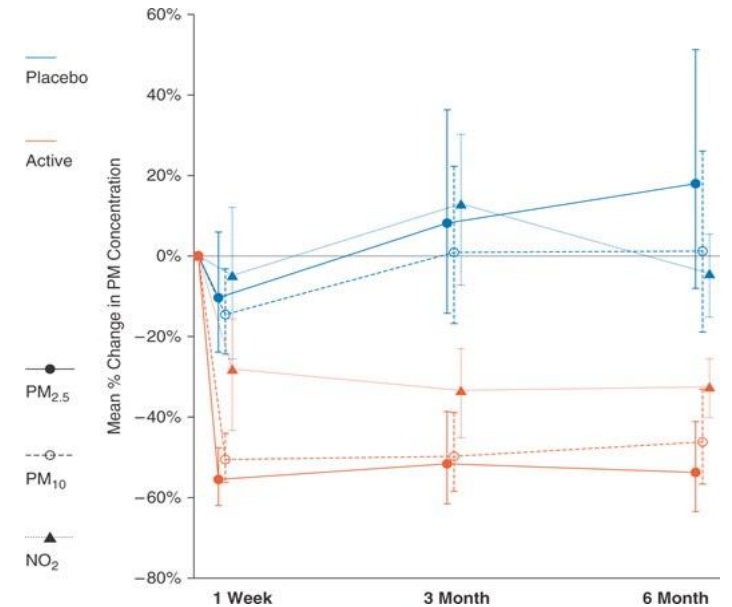


그림 3. 무작위 배정 후 1W, 3M, 6M 시점에서 중재군과 대조군의 실내 공기질 감소율 (Hansel et al., 2022)

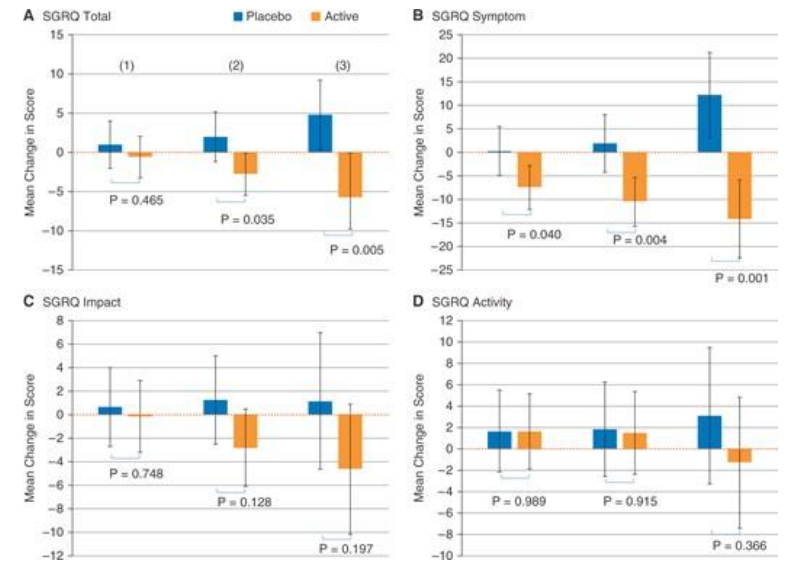


그림 4. 공기청정기 사용 정도에 따른 주요 결과 변수의 용량-반응 관계 (Hansel et al., 2022)

06. 행동 권고 설계

② 공통 핵심 행동 방안: 질한 공통으로 실천해야 할 핵심 방안 제시

2) 실외 공기질 연동 ‘선별적 환기’ 전략

: (자연식 환기) 하루 2~3회, 회당 10분 이상 창문을 열고 맞통풍 환기를 실시 (Pawel., 2013)

- 전후면 또는 양측 창문 혹은 현관문을 동시에 개방
- 겨울철에도 난방 손실을 줄이기 위해 되도록 짧은 시간이라도 자주 환기 실시

: (기계식 환기) 송풍기 또는 배풍기와 같은 기계식 환기 장치가 있을 경우, 가능한 상시 가동 및 필터 관리 권장

- 최소 3~4회/h 수준의 환기 횟수 확보
- 외부 공기 도입량 최대화로 하도록 실천

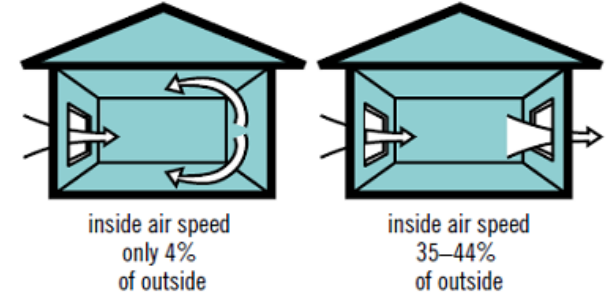


그림 5. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2018. Residential Air Cleaners: A Technical Summary (3rd ed.).

- 외부 미세먼지가 ‘중음~보통’ 수준일 때부터 환기 권장하며, ‘나쁨’ 이상일 경우 창문 개방을 자제하고 공기청정기 및 기계식 환기 의존 (American Lung Association, 2023)
- 일반적으로 오전~낮 시간대에 5~10분간 환기 제시

06. 행동 권고 설계

② 공통 핵심 행동 방안: 질환 공통으로 실천해야 할 핵심 방안 제시

3) 조리 시 오염원 철저 관리 전략

: 조리 직후 실내 PM_{2.5} 최고 농도값은 200~1,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 측정 ... 창문 개방 및 공기청정기 사용 시 농도와

감소 시간 크게 단축 (Xiang et al., 2021)

→ 공기청정기를 오염원 근처인 주방에 배치할 때 저감효과가 가장 컸음 (Kang et al., 2019; Xiang et al., 2021)

: 중국 코호트 연구에서 바이오가스 사용과 주방 환기를 개선했을 경우, 연간 FEV₁ 감소 속도가 12~16mL/year 감소

소

→ COPD 발생 위험 72% 감소 확인 (Xiang et al., 2021)

- 가스레인지 인덕션으로 교체하여 조리 중 발생하는 입자 및 가스 오염물질 노출 감소 (Zhou et al., 2014)
- 조리 전 배기 후드 가동 (가능하면 외부 배출형 후드 활용) 및 종료 후 일정 시간까지 운전 권고 (Singer et al., 2017; Rim et al., 2012)

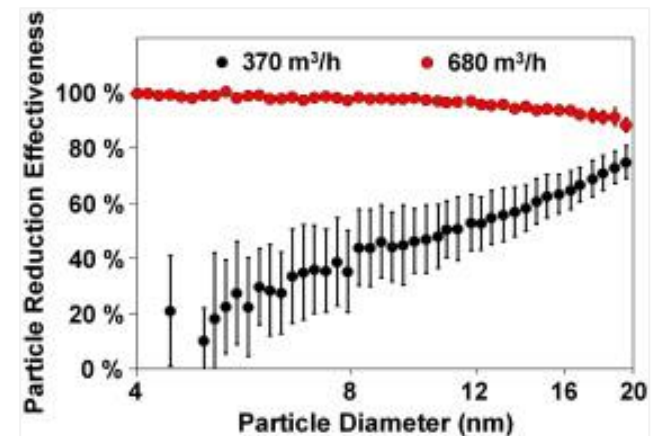
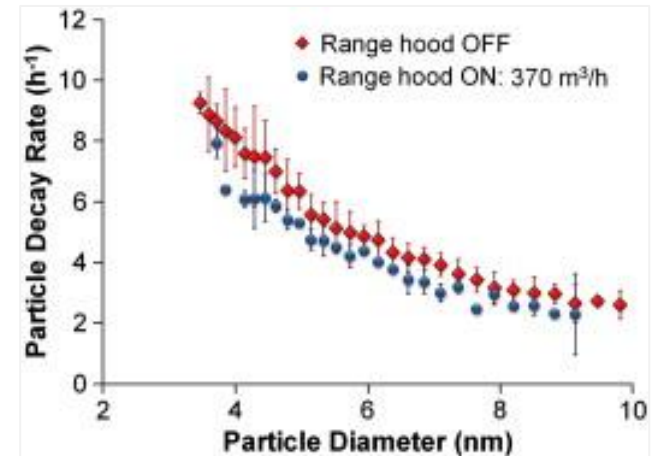


그림 6. (上)레인지 후드 사용 여부에 따른 실내 입자 감소 속도;
(下) 레인지 후드 환기량에 따른 입자 제거 효율
(Rim et al., 2012)

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

기존 COPD 중심 가이드라인에서 주로 외부 대기오염 회피 및 일반적 행동 권고에 초점

→ 환자가 실제로 대부분의 시간을 보내는 실내 환경을 주요 관리 대상으로 설정

COPD, IPF 등 하부호흡기계 질환자를 포괄하여, 질환 특성에 따른 민감 오염물질과 실내 발생원 관리에 초점

→ 즉각 대응 기준과 상시 유지 기준을 구분한 단계별 관리 전략 제시

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

1. 배경 및 목적

- 만성폐쇄성폐질환(COPD)과 특발성폐섬유화증(IPF)과 같은 하기도 질환 환자는 폐기능이 저하되어 작은 변화에도 증상이 급격히 악화될 수 있습니다. 게다가, 국내 COPD 유병률은 약 12%로 높으나 조기 인지율은 2~3%에 불과할 만큼 대규모 환자군에서 적절한 관리 없이 질환이 방치되고 있습니다¹⁾.
- 대부분의 질환자들은 하루 중 약 90% 이상을 실내에서 지내며²⁾ 실내 공기 중 오염 농도는 야외보다 2~5배 높을 수 있습니다³⁾. 환자들이 주로 머무는 실내 환경의 공기질을 개선함으로써, 호흡기 질환의 악화를 예방하고 삶의 질을 높일 수 있습니다.
- 본 가이드라인(안)의 목적은 하기도 질환 환자와 보호자가 실내 공기질을 효율적으로 관리하도록 돕는데 있습니다. 구체적으로, 기존 연구와 국제 권고기준으로 바탕으로 취해야 하는 행동, 실내 오염물질 목표 농도, 환자별 주의사항 등을 제시하고자 합니다. 이를 통해 환자는 스스로 환경을 점검 및 관리하여 공기오염 노출을 최소화하고, 의료진은 교육과 지도를 통해 환자 관리에 참고할 수 있습니다.

1) Park, H., Jung, S. Y., Lee, K., Bae, W. K., Lee, K., Han, J. S., ... & Jeong, H. (2015). Prevalence of chronic obstructive lung disease in Korea using data from the fifth Korea national health and nutrition examination survey. Korean journal of family medicine, 36(3), 128.

2) Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. Journal of exposure science & environmental epidemiology, 11(3), 231-252.

3) U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Introduction to Indoor Air Quality. Available at: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq> Accessed March 10, 2026.

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

2. 실내 공기오염물질 관리의 중요성

- 최근 연구들은 초미세먼지나 일산화질소 등 아무리 농도가 낮아도 호흡기 또는 심혈관 기능에 영향을 미칠 수 있음을 보여주었습니다⁴⁾⁵⁾.
즉, **명확한 ‘안전 기준선’이 사실상 없으며, 낮은 농도에서도 건강에 부정적 영향을 줄 수 있습니다⁶⁾.**
- 질환별로 각각 다른 기준치를 설정하여 관리를 하기보다, **취약계층을 모두 보호할 수 있는 가능한 낮은 목표치를 유지하는 것이 더 효과적입니다.**
WHO 등 국제기구 역시 “공기 중 오염물질 농도가 낮아도 영향이 있으므로 가능한 한 수준을 낮춰야 한다”는 점을 강조합니다⁷⁾.
- 본 가이드라인에서 명시되는 ‘실내’는 일반적인 주거 공간만을 의미하는 것이 아닌 의료기관, 요양시설, 공공시설 등 다중이용시설을 모두 포함하는 개념입니다.
- COPD, IPF 같은 폐질환 환자뿐 아니라, 아이·임산부·노인처럼 몸이 약한 분들도 함께 보호할 수 있는 공통 기준으로 지켜가는 것이 중요합니다.

4) Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope III, C. A., ... & Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(38), 9592-9597.

5) Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S. H., Mortimer, K., ... & Wuebbles, D. J. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the forum of international respiratory societies' environmental committee, part 2: air pollution and organ systems. *Chest*, 155(2), 417-426.

6) Pope III, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6), 709-742.

7) World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

3. 실내 공기오염물질 단계별 목표치(안)

- 표) 만성폐쇄성폐질환(COPD)와 특발성폐섬유화증(IPF) 환자를 대상으로 실내 공기질 관리를 위해 제안된 대표적인 오염물질별 목표 농도
- 좌측의 '즉시' 목표치: 오염 수준이 급격히 높아졌을 때 가능한 한 빨리 조치 취해야 할 농도로 기본 1시간 급성 기준
- 우측의 '유지' 목표치: 24시간 평균 농도로 상시 관리 기준. 제시된 수치는 국내 실내공기질 관리법 및 국외 가이드라인(WHO 2021; Health Canada 등) 및 관련 연구들을 참고한 목표치로, 가능한 낮은 농도 수준을 유지하도록 권고.
- 예시) 초미세먼지의 경우 즉시 1시간 내 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 24시간 유지 $\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Health Canada 권고치 수준)을 목표로 함.
단, WHO의 최신 대기질 지침은 이보다 엄격한 목표치를 제안, 현실적으로 달성 가능 수준을 고려함

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

3. 실내 공기오염물질 단계별 목표치(안)

물질	실내 '즉시' 목표 (즉각 행동 기준, 1H 이내 회복 권고)	실내 '즉시' 목표 (24h 평균, 상시 관리 기준)	근거
PM _{2.5} [μg/m ³]	35	≤10	(즉시) 국내 미세먼지 예보 기준; (유지) Health Canada RIAGs
PM ₁₀ [μg/m ³]	75	≤45	(즉시) 국내 실내공기질 [민감] 관리법 기준; (유지) WHO AQG 2021
NO ₂ [ppm]	0.06	≤0.011	(즉시) 국내 실내공기질 관리법 기준; (유지) Health Canada RIAGs
CO ₂ [ppm]	1,000 (가능한 최저로 유지)		국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준 ⁴ Health Canada RIAGs; ASHRAE
HCHO [ppb]	80	≤40 (8h 평균)	(즉시) 국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준; (유지) Health Canada RIAGs
TVOC [μg/m ³]	500	≤400	(즉시) 국내 실내공기질 [다중] 관리법 기준; (유지) 국내 실내공기질 [민감] 관리법 기준
CO [ppm]	25	≤9	(즉시) Health Canada RIAGs 및 WHO AQG 2021; (유지) 국내 실내공기질 [다중 및 민감] 관리법 기준
O ₃ [ppb]	100	≤50 (8h 평균)	(즉시) 국내 대기환경보존법 기준; (유지) WHO AQG 2021
상대습도 [%]	50 (적정범위 유지)		국토교통부. 건축물의 에너지절약설계기준 [별표8]

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

4. 하기도 질환별 행동 권고

- 하기도 질환 환자는 증상의 악화 요인인 실내외 오염물질 노출을 적극적으로 관리하는 것이 중요합니다.

다음은 만성폐쇄성폐질환(COPD)과 특발성 폐섬유화증(IPF) 환자 대상의 구체적인 생활 및 환경 관리 수칙입니다.

1) 만성폐쇄성폐질환(COPD)

- 만성폐쇄성폐질환 환자에서는 공기오염이 갑자기 심해졌을 때, 단기적 노출만으로도 증상 악화의 위험성이 있습니다.
 - ✓ **즉각 대응:** 미세먼지 및 오존이 갑자기 증가했을 때는 환기를 멈추고 외출을 자제하며, 필요 시 마스크 착용을 고려해주세요.
증상이 심해지면 바로 병원에 내원하시는 것을 권장합니다.
 - ✓ **오존 많은 시간 피하기:** 낮에 햇볕이 강한 시간대(특히 오후)에는 오존 농도가 높아지므로, 외출을 삼가해주세요.
 - ✓ **공기청정기 활용:** 헤파(HEPA) 필터가 장착된 공기청정기를 상시 가동시키고, 바깥 공기가 깨끗한 날(‘좋음~보통’)만 짧게 환기해주세요.
실외 공기질 농도가 ‘나쁨’ 이상일 경우 자연 환기를 지양하고, 창문을 닫은 상태에서 공기청정기로 실내 정화에 집중해 주세요.

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

4. 하기도 질환별 행동 권고

2) 특발성 폐섬유화증(IPF)

- 특발성 폐섬유화증 환자는 폐에서 산소를 들이마시고 내보내는 기능이 약하기 때문에, 초미세먼지(PM_{2.5})와 이산화질소(NO₂)와 같은 오염물질 노출에 특히 유의할 필요성이 있습니다.
 - ✓ **조리할 때 주의:** 가스레인지 대신 전기레인지나 인덕션을 사용하면 이산화질소(NO₂) 발생을 줄일 수 있습니다.
 - ✓ **공기청정기 활용:** 헤파(HEPA) 필터가 장착된 공기청정기 다수를 실내에, 특히 이산화질소(NO₂)의 주요 발생지인 주방에 설치해 주세요. 이산화질소 노출을 가능한 줄이는 확실한 방법은 발생원을 제거하는 것입니다.
 - ✓ **증상 악화 신호:** 공기 오염물질이 며칠~몇 주 동안 계속 높아지면 갑자기 증상이 심해질 위험이 있습니다. 이 시기에는 외출을 삼가해 주시고, 실내 공기질 관리에 보다 신경 써주세요.

하기도 질환 환자 대상 가이드라인(안)

4. 하기도 질환별 행동 권고

3) 공통 관리 방법

- ✓ **실내 오염원 줄이기**: 가스레인지, 향초, 실내 흡연 등을 피해주세요.
- ✓ **환기 시기**: 바깥 공기가 깨끗한 시간대를 확인해 짧게 환기해주세요. 마주보는 두 창문을 활짝 여는 맞통풍 환기 방법을 권장합니다.
- ✓ **공기청정기 사용**: 헤파(HEPA) 필터가 장착된 공기청정기를 상시 가동해주시고, 필요 시 여러 대를 배치해주세요. 반드시 H13 등급 이상의 헤파 필터를 사용하시는 것을 권장합니다. 실제 사용 면적 이상의 용량을 갖춘 제품을 선택해 주세요.

5. 결론

- 만성폐쇄성폐질환(COPD) 및 특발성폐섬유화증(IPF) 환자는 실내 공기질 관리가 질환의 경과에 큰 영향을 미칩니다.

본 가이드라인(안)에서는 국제적 권고와 국내 기준을 반영한 행동지침과 오염물질 목표치를 제시하였습니다.

환자와 보호자는 제시된 기준을 참고하여 생활공간의 공기질을 주기적으로 점검하고, 오염 농도가 높아지면 즉각적인 환기 조절과 마스크 착용 등 행동으로 대처할 필요가 있습니다.

취약집단 이용 시설에서의 가이드라인 작성을 위한 문헌조사

- 어린이집 및 학교와 같은 취약집단 이용시설에서 적용된 최근 근거와 지침 및 학교 환경 연구 결과를 바탕으로 문헌조사 실시

국기 및 기구	어린이집 및 학교 적용 내용
미국 (EPA 및 ASHRAE 기준)	<ul style="list-style-type: none">• (ASHRAE Standard 62.1) 비주거용 건물 환기 기준으로 교실에 대해 시간당 최소 5회 환기 권장• (EPA) 학교 내 실내 공기질 관리를 위해 PM_{2.5}, CO₂, NO₂, VOC 등의 개선을 위한 절차적 지침 제시 및 환기율과 공기 청정 시스템 사용 강조
유럽 및 WHO	<ul style="list-style-type: none">• (WHO) 학교 실내 공기질을 위한 목표로 PM_{2.5} 농도 5µg/m³ 이하, NO₂ 10µg/m³ 이하, O₃ 농도 60µg/m³ 이하로 권장• (EU SINPHONIE 프로젝트) 유럽 학교의 공기질 개선을 위한 가이드라인으로 학교 환기 시스템의 개선을 강조하며, 실내 공기 오염물질 감소를 위한 설비와 정책 제안• (유럽 국가 표준) 독일 및 프랑스는 다중이용시설에 대해 CO₂ 농도 1,000ppm 이하 권장; 환기 시스템과 필터링 장치의 설치를 필수적으로 요구

취약집단 대상 가이드라인 제시를 위한 문헌 조사

- 어린이 및 임산부는 하부호흡기계 질환자와 더불어 실내공기오염에

특히 취약한 대표적인 민감계층으로 분류

✓ **어린이:** 단위 체중당 호흡량이 성인보다 많으며 폐가 아직 발달
중으로, 바닥에서 재비산되는 오염물질에 더 많이 노출

✓ **임산부:** 오염물질 노출이 태아의 발달에 직접적 영향을 미칠 수
있으며, 임신 중 면역체계의 변화로 오염물질에 더 민감하게 반응

- 현재 국내 실내공기질 관리법은 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설,
어린이집 등 다중이용시설에 대해 강화된 기준을 적용하고 있음.

- 그러나, 어린이와 임산부는 가정 내에서도 많은 시간을 보내기에
공공시설 관리만으로는 취약계층 보호에 한계가 있기에 **가정 환경을 고려**

한 실내공기질 관리 기준과 지침 개발이 필요함.

오염물질 항목	미세 먼지 (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	초미세 먼지 (PM-2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총 부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)
다중이용시설						
가. 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 항만 시설 중 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 장례식장, 영화상영관, 학원, 전시 시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업의 영업시설, 목욕장업의 영업시설	100 이하	50 이하	1,000 이하	100 이하	-	10 이하
나. 도서관·박물관 및 미술관, 대규모 점포, 학원		40 이하				
다. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집, 실내 어린이놀이시설	75 이하	35 이하		80 이하	80 이하	
라. 실내주차장	200 이하	-		100 이하	-	25 이하
마. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물	200 이하	-	-	-	-	-

“실내공기질 관리법” 및 “실내공기질 관리법 시행규칙”

취약집단 실내 공기오염 건강영향 연구 문헌조사

1) 어린이

오염물질	대상 및 환경	노출 수준	주요 결과	참고 문헌
PM _{2.5}	소아 천식 환자 가정	17.7µg/m ³ 증가	<ul style="list-style-type: none"> 실내 PM_{2.5} 농도 증가 시 소아 천식 환자의 FEV₁/FVC 6.1% 감소; FEV₂₅₋₇₅ 12.9% 감소 	Isiugo et al., 2019
PM ₁₀	어린이와 청소년 체계적 문헌 고찰 및 메타 분석	-	<ul style="list-style-type: none"> (대규모 종합분석) PM10 노출과 아동 천식 및 천명 위험 증가 	Keleb et al., 2025
NO ₂	도시 소아 가정	20ppb 증가	<ul style="list-style-type: none"> NO₂ 20ppb 상승 시 천식 아동의 기침 및 야간 천명 보고 증가 	Hansel et al., 2008
HCHO	아동 메타 분석	10µg/m ³ 증가	<ul style="list-style-type: none"> 실내 포름알데히드 노출 10µg/m³ 증가 시 아동 천식 위험 20% 증가 	Lam et al., 2021
TVOC	종합적 고찰	-	<ul style="list-style-type: none"> 실내 방향족/알라파틱 VOC 농도 증가 시 천식 증상 빈도 상승 	Paterson et al., 2021
O ₃	학교 실내	평균 8µg/m ³ 증가	<ul style="list-style-type: none"> 실내 오존 및 교통에 의한 NO₂ 노출과 아동의 알레르기 체질 및 천명 발생률 간의 유의미한 연관 	Fsadni et al., 2018
행동 중재 관련	천식 악화 고위험군	개인 착용 모니터를 통한 72시간 노출 평가 (개인 NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ 및 미세먼지 오염원)	<ul style="list-style-type: none"> 개인 수준의 특정 실내 오염물질 노출이 소아 천식 악화와 유의하게 연관 개인 착용 모니터를 활용한 정밀 노출 평가가 천식 악화 유발 오염원 규명 필요 시사 	Moore et al., 2025

취약집단 실내 공기오염 건강영향 연구 문헌조사

2) 임산부

오염물질	대상 및 환경	노출 수준	주요 결과	참고 문헌
바이오매스 연료 (HAP)	농촌 임산부 (1,2분기)	연료유형 비교	<ul style="list-style-type: none"> FeNO 상승, mMRC 호흡곤란 증가, SGRQ-C 악화 기도 염증 및 증상 악화 보고 	Van et al., 2019
	농촌 임산부		<ul style="list-style-type: none"> 기침, 천명, 호흡곤란 등 호흡기 증상 위험 증가 	
가스기기 (실내 PM _{2.5})	도시 임산부 (개인 및 실내 모니터링)	가스기기 사용 비료	<ul style="list-style-type: none"> PM2.5 농도 194.6% 증가에 따라 악화 촉발 가능 노출 급증 제시 	Ha et al., 2020
NO ₂ (가스조리 연관)	임신 중 천식 여성	환경 NO ₂ 증가	<ul style="list-style-type: none"> 천명 관련 증상일 증가 약물 감량군에서 악화 위험 증가 	Gent et al., 2015
종합	실내 전반	체계적 문헌 고찰	<ul style="list-style-type: none"> 가스 조리 시 실내 NO₂, PM_{2.5} 증가하며, 천식 악화와 연관됨 	Puzzolo et al., 2024

향후 계획

- 본 가이드라인(안)은 단순 권고 문서에 그치지 않고, 향후 제도 및 정책과의 연계를 통해 실제 현장에서 활용될 수 있도록 하고자 함.
- 가이드라인 제언 단계부터 정책 활용 가능성을 고려한 실행 전략 수립 및 다학제적 전문가 자문을 진행하여 과학적 타당성, 현장 적용 가능성 등 종합적 검토하며 이를 바탕으로 보완 및 개선 사항 도출 예정
- 또한, 관계 기관과의 협의를 통해 향후 실내 공기질 관리 정책, 취약군 보호 지침, 관련 법 및 제도 개선 논의 과정에서 참고자료로 활용될 수 있도록 정책 연계 가능성 검토
- 하기도질환 환자 대상 가이드라인(안)의 제시 흐름과 동일한 체계 기반, 어린이와 임산부 등 취약계층을 대상으로 한 실내 공기질 관리 가이드라인(안)도 제시하여 보다 포괄적인 정책 제안 도출 예정

감사합니다.