



주간 건강과 질병

PHWR

Public Health Weekly Report

Vol. 18, No. 44, November 13, 2025

Content

조사/감시 보고

- 1691 2014-2024년 외국인 급성 B형 간염 신고 현황 및
역학적 특성
- 1715 2024년 충청권 공 · 향만 오 · 하수 감시사업 병원체
감시 현황

리뷰와 전망

- 1733 미세먼지 건강영향 대응 중재 연구에 대한 서술적 문헌고찰

질병 통계

- 1776 시 · 도별 당뇨병 진단 경험률(30세 이상) 격차 추이,
2015-2024년



KDCA

Korea Disease Control and
Prevention Agency

Aims and Scope

주간 건강과 질병(*Public Health Weekly Report*) (약어명: *Public Health Wkly Rep*, PHWR)은 질병관리청의 공식 학술지이다.

주간 건강과 질병은 국가 공중보건 관련 조사·감시·연구 결과에 대한 근거 기반의 실용적이며 권위있는 정보를 보건의료인, 공중보건 종사자, 역학자, 국민 등에게 신속하고 정확하게 제공하는 목적으로 발행된다.

주간 건강과 질병은 신속한 전문가 심사를 거쳐 감염병과 비감염성 질병, 손상과 중독, 건강증진 등과 관련된 조사/감시 보고, 집단발병 보고, 현장 보고, 연구 논문, 리뷰와 전망, 권고 보고와 정책 보고 등의 원고를 게재한다. 주간 건강과 질병은 주로 국내의 공중보건 관련 정보를 제공하지만 전 세계 연구자들의 투고를 환영한다.

About the Journal

주간 건강과 질병(eISSN: 2586-0860)은 질병관리청에서 발간하는 학술지이다.

주간 건강과 질병은 연간 50호의 주간 발간 학술지로 매주 목요일에 발행되며, 신속한 전문가 심사 과정을 통해 정보를 적시에 공유한다. 주간 건강과 질병은 오픈 액세스(Open Access) 학술지로, 저작물 이용 약관(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)에 따라 원본이 적절히 인용되는 조건하에 제한없이 사용이 가능하다.

Submission and Subscription Information

주간 건강과 질병에 투고하고자 하는 모든 논문의 접수는 주간 건강과 질병의 온라인 투고시스템(<https://www.phwr.org/submission>)을 통해서 가능하며 논문투고 시 필요한 모든 내용은 원고 투고 규정과 보고 지침을 참고한다. 주간 건강과 질병은 학술지 홈페이지(<https://phwr.org> 또는 <https://eng.phwr.org>)를 통해 주간 단위로 게시되고 있으며, 무료로 구독 가능하다. 정기적 구독을 원하시는 분은 이메일(phwrcdc@korea.kr)로 신청할 수 있다.

기타 모든 문의는 전화(+82-43-719-7557, 7552, 7561, 7562), 팩스(+82-43-719-7569) 또는 이메일(phwrcdc@korea.kr)을 통해 가능하다.

발행일: 2025년 11월 13일

발행인: 임승관

발행처: 질병관리청

편집사무국: 질병관리청 질병감시전략담당관
(28159) 충북 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명2로 187 오송보건의료행정타운
전화. +82-43-719-7557, 7552, 7561, 7562, 팩스. +82-43-719-7569
이메일. phwrcdc@korea.kr
홈페이지. (국문) <https://phwr.org> (영문) <https://eng.phwr.org>

편집제작: ㈜메드랑
(04521) 서울시 중구 무교로 32, 효령빌딩 2층
전화. +82-2-325-2093, 팩스. +82-2-325-2095
이메일. info@medrang.co.kr
홈페이지. <http://www.medrang.co.kr>

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency

This is an Open Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

편집위원장

최보울

한양대학교 의과대학

부편집위원장

곽진

전북대학교 의과대학

손현진

동아대학교 의과대학

류소연

조선대학교 의과대학

염준섭

연세대학교 의과대학

박지혁

동국대학교 의과대학

하미나

단국대학교 의과대학

편집위원

고현선

가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원

권윤형

질병관리청

김동현

한림대학교 의과대학

김성순

질병관리청

김수영

한림대학교 의과대학

김용우

질병관리청 국립보건연구원

김윤희

인하대학교 의과대학

김은진

질병관리청

김중곤

서울의료원

김호

서울대학교 보건대학원

박영준

질병관리청

백선경

질병관리청

송경준

서울대학교병원운영 서울특별시보라매병원

송진수

서울대학교 의과대학

신다연

인하대학교 자연과학대학

안정훈

이화여자대학교 신산업융합대학

엄중식

가천대학교 의과대학

오경원

질병관리청

오주환

서울대학교 의과대학

유석현

가톨릭대학교 의과대학

유영

고려대학교 의과대학

유효순

질병관리청

이경주

동작구 건강관리청

이선희

부산대학교 의과대학

이윤환

아주대학교 의과대학

이재갑

한림대학교 의과대학

이혁민

연세대학교 의과대학

이형민

질병관리청

전경만

삼성서울병원

정은옥

건국대학교 이과대학

정재훈

고려대학교 보건대학원

최선화

국가수리과학연구소

최원석

고려대학교 의과대학

최은화

서울대학교어린이병원

허미나

건국대학교 의과대학

사무국

김시우

질병관리청

김재홍

질병관리청

박희빈

질병관리청

이은영

질병관리청

이희재

질병관리청

원고편집인

조소연

(주)메드랑

2014–2024년 외국인 급성 B형 간염 신고 현황 및 역학적 특성

강슬기¹ , 권승현¹ , 고대현¹ , 이지현¹ , 김민수¹ , 김윤숙² , 이아영³ , 채승훈⁴ , 박영준^{1*}

¹질병관리청 감염병정책국 감염병관리과, ²질병관리청 호남권질병대응센터 운영지원과, ³질병관리청 경남권질병대응센터 만성질환사업과,

⁴질병관리청 기획조정관 기획재정담당관

초 록

목적: 본 보고서는 2014–2024년 동안 국내 법정감염병 감시체계에 보고된 급성 B형 간염 환자 중 외국인 사례를 중심으로 내·외국인의 신고 양상을 비교하고, 외국인의 역학적 특성을 분석하고자 하였다.

방법: 분석대상은 총 3,591명(내국인 3,287명, 외국인 304명)으로, 질병관리청 방역통합정보시스템에 등록된 신고자료와 역학조사 자료를 활용하였다. 내·외국인의 신고 추세, 성별, 연령대, 지역 분포를 비교하였으며, 외국인 환자에 대해서는 인구학적·임상적·역학적 특성을 기술하였다.

결과: 내국인과 외국인은 신고 추세, 성별, 지역 분포에서 유사하였으나, 연령대 분포에서 차이를 보였다. 내국인은 40–50대에서 약 40% 이상, 외국인은 20–30대에서 약 57%로 신고가 집중되었다. 외국인 환자의 약 85%는 아시아 출신으로, 중국·베트남 등 고유병률 국가 출신의 비중이 높았다. 직업은 무직과 단순노무직이 약 40%를 차지하였으며, 주요 임상증상은 황달이었다. 백신 접종률은 대부분 확인되지 않았으며, 역학조사 과정에서는 의사소통의 어려움이 가장 큰 문제로 보고되었다.

결론: 외국인 급성 B형 간염 환자는 국내 체류 외국인 증가와 함께 관리가 필요한 대상이다. 고유병률 국가 출신이 많지만 의료 접근성이 낮아 실제 발생보다 과소 진단·보고되었을 가능성이 있다. 또한 예방접종 이력이 대부분 확인되지 않아 향후 추가 발생의 잠재적 요인이 될 수 있다. 따라서 국내 체류 외국인의 예방접종률 향상을 포함한 맞춤형 관리 전략 마련이 필요하다.

주요 검색어: 바이러스 간염; 급성 B형 간염; 외국인; 역학

서 론

급성 B형 간염은 B형 간염 바이러스(hepatitis B virus) 감염에 의해 발생하는 급성 간염 질환으로 주된 전파경로는 주사기감염, 성접촉, 수혈, 오염된 주사바늘, 피어싱, 문신, 면

도기 사용 등 다양한 혈액 매개 경로이다. 주요 증상으로는 황달, 짙은 색의 소변, 식욕부진, 오심, 근육통, 극한 피로, 우상복부 압통 등이 있으나 일반 성인의 약 50%에서는 무증상으로 경과할 수 있다[1]. 성인 감염자의 대부분은 6개월 이내 자연 회복되지만, 영유아 감염자의 약 95%는 만성 간염으로 진

Received October 1, 2025 Revised October 16, 2025 Accepted October 17, 2025

*Corresponding author: 박영준, Tel: +82-43-719-7140, E-mail: pahmun@korea.kr

박영준 현재 소속: 질병관리청 감염병위기관리국 위기관리총괄과

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약**① 이전에 알려진 내용은?**

B형 간염은 전 세계적으로 질병 부담이 큰 감염병이나, 우리나라는 예방접종과 적극적 정책 시행으로 내국인 유병률이 크게 감소하였다. 그러나 국내 체류 외국인이 증가하고, 고 유병률 국가 출신의 유입이 확대되고 있음에도, 관련 현황에 대한 분석은 부족하다.

② 새로이 알게 된 내용은?

질병관리청 자료 분석 결과, 내·외국인의 급성 B형 간염은 연도별 신고 추세, 성별, 지역 분포는 유사했으나 연령대 분포에서 차이를 보였다(내국인 40~50대, 외국인 20~30대 집중). 외국인 환자는 주로 아시아 출신으로, 중국·베트남 등 고유병률 국가 출신이 많았고, 약 40%는 무직 또는 단순노무직이었다. 백신 접종률은 대부분 불명확했으며, 역학조사 시 의사소통의 어려움이 주로 보고되었다.

③ 시사점은?

국내 체류 외국인의 급성 B형 간염 예방과 관리를 위해 예방접종 기회 확대, 진단검사 접근성 향상, 의사소통 및 진료 접근성 개선을 포함한 맞춤형 공중보건 전략 마련이 필요하다.

행되므로 예방접종이 가장 중요한 예방법이다[2]. B형 간염 예방백신은 0, 1, 6개월 간격으로 총 3회 접종 시 효과적으로 감염 예방이 가능하다[3]. 급성 B형 간염 환자는 별도의 격리가 필요하지 않으나 혈액 내 B형 간염 표면항원(hepatitis B surface antigen, HBsAg)이 양성인 동안에는 전파 가능성이 있으므로 혈액 및 체액 노출 예방을 위한 표준주의 준수가 필요하다[1].

우리나라의 급성 B형 간염은 2000년 개정된 「전염병예방법」에 따라 예방접종으로 관리가 가능한 제2군 전염병으로 분류되었고, 2001년부터는 병원급 이상 의료기관을 중심으로 급성 B형 간염, 산모 B형 간염, 주산기 B형 간염에 대한 표본 감시가 시작되었다[4,5]. 그러나 표본감시는 전국 규모의 환자 발생 상황을 평가하는 데 한계가 있어 2010년부터 전수감시로 전환되었다[6]. 이후 2016년 진단기준 고시 개정에 따라

산모 및 주산기 B형 간염이 제외된 급성 B형 간염만 신고 대상으로 감시가 유지되고 있다[7].

세계보건기구(World Health Organization, WHO)에 따르면 B형 간염은 C형 간염과 함께 전 세계적으로 높은 질병 부담을 주는 감염병으로 2022년 기준 약 3억 4백만 명이 이러한 바이러스 감염을 앓고 있으며, 이 중 80% 이상은 B형 간염 환자로 추정된다. 또한, 매일 약 3,500명이 간염으로 사망하는데 60개국 이상에서의 간염 사망률은 인구 10만 명당 20명을 초과하는 것으로 보고 되었다. 특히 서태평양 지역과 아프리카 지역에서 질병 부담이 가장 큰 것으로 확인되었다[8]. B형 간염의 주요 감염경로가 주산기 감염이므로 2025년 기준 129개국은 산전 검진 정책을 도입하였고, 147개국은 출생 시 예방접종을 시행 중이다. 그러나 전 세계 예방접종률은 여전히 43%에 불과하며, 질병 부담이 큰 아프리카 지역의 경우 접종률은 17%로 매우 낮은 수준이다[9].

이에 비해 우리나라의 경우 1982년 조사된 한국인의 HBsAg 양성률은 8.6%였으며, 특히 10대에서는 14.2%로 매우 높은 수준이었다[2]. HBsAg 양성률은 체내에 B형 간염 바이러스가 존재함을 의미하므로, 일반적으로 B형 간염 유병률을 대표하는 지표로 사용된다. 이후 1983년에 국내 백신 개발, 1984년 「간염퇴치 5개년 계획」 수립을 계기로 예방접종이 본격적으로 권고되었다. 1992년에는 관련 학계로부터 B형 간염 산모에게 출생한 신생아 대상 백신 접종이 권고되었고, 1995년에는 영유아 대상 정기 예방접종을 실시하는 국가필수 예방접종 사업에 포함되었다. 이어서 2002년에는 정부 주도의 주산기 감염 예방 사업이 시행되었다[2].

이러한 일련의 민·관 합동 노력으로 국내 B형 간염 유병률은 점차 낮아져, 그 성과는 2008년 WHO로부터 관리 성과 인증을 받음으로써 국제적으로도 확인되었다[10]. 2023년 기준 국내 HBsAg 양성률은 2.4%로 보고되었고, 4~6세 학령전기 어린이의 양성률은 2007년 기준 0.2%로 확인되었다[11,12]. 2024년 기준 전국 어린이 예방접종률은 약 97%의

높은 수준을 유지하고 있다[13].

한편, 2024년 기준 국내 체류 외국인은 약 265만 명으로 우리나라 전체 인구의 5.2% 규모로 확인되었다. 코로나 바이러스감염증-19 팬데믹 기간에는 전체 인구 대비 규모가 팬데믹 이전 2019년 4.9% (약 252만 명)에서 2021년 3.8% (약 196만 명)까지 감소했으나, 이후 다시 증가하여 2023년 4.9% (약 251만 명), 2024년 5.2% (약 265만 명)로 회복세를 보였다. 2018-2024년 동안 주요 국적별 체류 외국인은 중국이 36.2%로 가장 많았으며, 이어 베트남(11.5%), 태국(7.1%), 미국(6.4%), 우즈베키스탄(3.6%) 순으로 나타났다[14]. 2014-2024년간 등록 외국인 기준 성비는 남성 대 여성이 약 6:4였으며, 연령 분포는 20-30대가 전체의 약 56-58%를 차지하였다[15].

외국인은 내국인에 비해 보건의료 서비스 접근성이 상대적으로 낮다[16,17]. 특히, B형 간염 고유병률 국가 출신 외국인의 경우 간질환 부담이 높아 국내 보건상황에 영향을 미칠 가능성이 지적되어 왔다[2]. 이에 대한 적절한 대응이 요구되나, 이와 관련된 체계적인 현황은 부족한 상황이다. 본 보고서는 2014-2024년 국내 법정감염병 감시체계에 보고된 외국인 급성 B형 간염 환자의 신고 현황과 역학적 특성을 확인하고, 그 결과를 제시하고자 한다.

방 법

1. 신고기준

감염병 신고를 위한 진단기준 고시 제3급-2항('B형 간염')에 따르면, 급성 B형 간염 환자는 6개월 이내 B형 간염 진단 이력이 없는 경우에 한해 혈액 검체에서 특이 항원(HBsAg) 및 특이 항체(IgM anti-HBc)가 동시에 검출되거나, 또는 특이 항체만 단독 검출된 경우로 정의한다[14]. 의료기관 등에서는 환자를 진단한 후 24시간 이내에 신고서를 작성하여 관할 보건소로 팩스 또는 방역통합정보시스템([https://eid.kdca.](https://eid.kdca.go.kr/isc/WebCube/setup.htm)

[go.kr/isc/WebCube/setup.htm](https://eid.kdca.go.kr/isc/WebCube/setup.htm))을 통해 신고해야 한다[1].

급성 B형 간염 환자는 일반적으로 급성 간염에 부합하는 임상증상을 동반하면서 진단을 위한 검사기준에서 제시한 감염병 병원체가 확인된 경우를 의미한다[1]. 다만, 해당 고시에는 무증상 감염도 발생할 수 있음을 명시하고 있어, 임상증상 여부와 관계없이 병원체가 확인된 경우 또한 신고대상에 포함한다[18].

2. 분석기간 및 분석대상

분석기간은 2014년 1월 1일-2024년 12월 31일이다. 해당 기간 동안 급성 B형 간염 신고를 위한 진단기준에 부합하여 질병관리청 방역통합정보시스템에 신고 및 확정 통계에 반영된 환자는 총 3,591명이었다. 이 중 대한민국 국적의 내국인은 3,287명(91.5%), 외국인은 304명(8.5%)이었다.

본 보고서의 주요 분석대상은 외국인 환자 304명이다. 다만, 외국인의 신고 현황을 해석하고, 내국인과의 차이를 평가하기 위해 내국인 환자 3,287명을 대조군으로 포함하였다. 분석에는 방역통합정보시스템에 등록된 발생신고 자료와 역학조사 자료를 활용하였다. 확보된 자료는 발생신고 304건(100%)과, 역학조사 243건(79.9%)이었다(보충 그림 1; available online).

3. 분석방법

분석방법은 총 2단계로 구성하였다. 첫 번째 단계는, 외국인과의 급성 B형 간염 신고 양상에 차이가 있는지 평가하기 위한 비교 분석이다. 신고자료를 기반으로 두 집단의 연도별 신고 추세와 성별, 연령대 분포를 확인하고, 두 집단간 차이가 있는지 평가하였다. 연도별 추세 비교를 위해 Pearson 상관분석을 실시하였으며, 결과를 상관계수(r)와 유의확률(p-value)로 제시하였다. p-value<0.05인 경우 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다. 또한, 성별, 연령대별 분포 차이는 chi-square 검정을 통해 평가하였다.

두 번째 단계는, 외국인 급성 B형 간염 환자의 특성을 파악하기 위한 기술 분석이다. 외국인 환자의 출신국 분포를 확인하고, 신고자료를 통해 인구학적 특성을, 역학조사 자료를 통해 임상 및 역학적 특성을 파악하였다. 결과는 빈도(n)와 백분율(%)로 제시하였다. 모든 분석은 SAS 9.4 version (SAS Institute), ArcGIS Pro 3.4.0 (Esri)을 이용하였다.

결 과

1. 2014-2024년 내·외국인 급성 B형 간염 신고 양상 비교

2014-2024년 급성 B형 간염의 연도별 및 내·외국인별 신고 현황을 그림 1에 제시하였다. 2014-2015년까지 연간 150-170명 수준에서 이후 연간 300명 이상으로 증가하였다. 2021년 453명으로 정점에 도달한 뒤 점차 감소하여 2024년에는 250명이 확인되었다. 전체 신고 중 외국인 환자 비중은 2014-2015년 연간 5명(전체의 약 3%)에서 2016년 이후 연간 30여 명으로 전체의 7-9% 비중을 차지하였다. 2020년에는 45명(11.8%)으로 최대치를 기록하였으며, 이후 2024년까지 연간 30명대 수준(전체의 8-10%)에서 증감을 반복하였다. 연도별 내·외국인 간 신고 추세 비교를 위한 Pearson 상관분

석 결과, 상관계수(r)는 0.89로 강한 상관성을 확인할 수 있었다($p\text{-value}<0.01$). 또한, 분석기간 동안 전체 월별 발생에서는 유의한 계절적 패턴을 확인할 수 없었는데, 이는 외국인과 내국인을 구분하여 비교하였을 때도 동일하였다.

성별 분포는 내국인에서 남자 1,940명(63.1%)과 여자 1,214명(36.9%), 외국인에서는 남자 198명(65.1%)과 여자 106명(34.9%)으로 내·외국인 간 유의한 차이는 없었다($p\text{-value}=0.51$).

분석기간 동안 내·외국인별 누적 연령대 분포는 그림 2에 제시하였다. 전체 환자의 90% 이상이 내국인으로 구성되어 있어, 전체 분포 양상은 내국인과 유사하게 나타났다. 내국인은 40대(689명, 21.0%), 50대(710명, 21.6%)가 가장 높은 비중을 차지하였고, 두 연령군으로만 전체 내국인의 약 40% 이상을 차지하였다. 또한, 내국인의 경우 20대부터 50대까지 연령대별 비중이 15-20% 수준으로 비교적 고르게 분포하였다. 반면, 외국인의 경우 20대에서 92명(30.3%)으로 가장 많이 신고되었고, 30대 82명(27.0%)과 합쳐 전체의 약 57%를 차지하였다. 이후 연령이 증가할수록 신고 수는 뚜렷하게 감소하였으며, 이러한 내·외국인의 연령대별 분포 차이는 통계적으로 유의하였다($p\text{-value}<0.01$).

지역별 내·외국인 누적 신고 현황을 그림 3에 제시하였

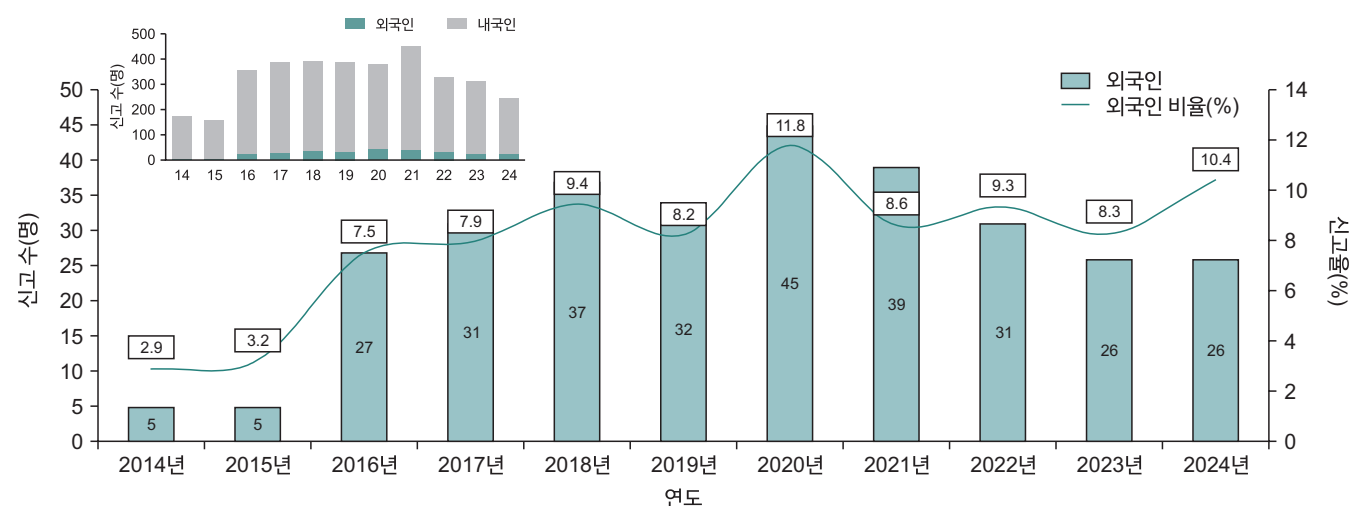


그림 1. 2014-2024년 국내 발생 연도별 외국인 급성 B형 간염 신고 추이

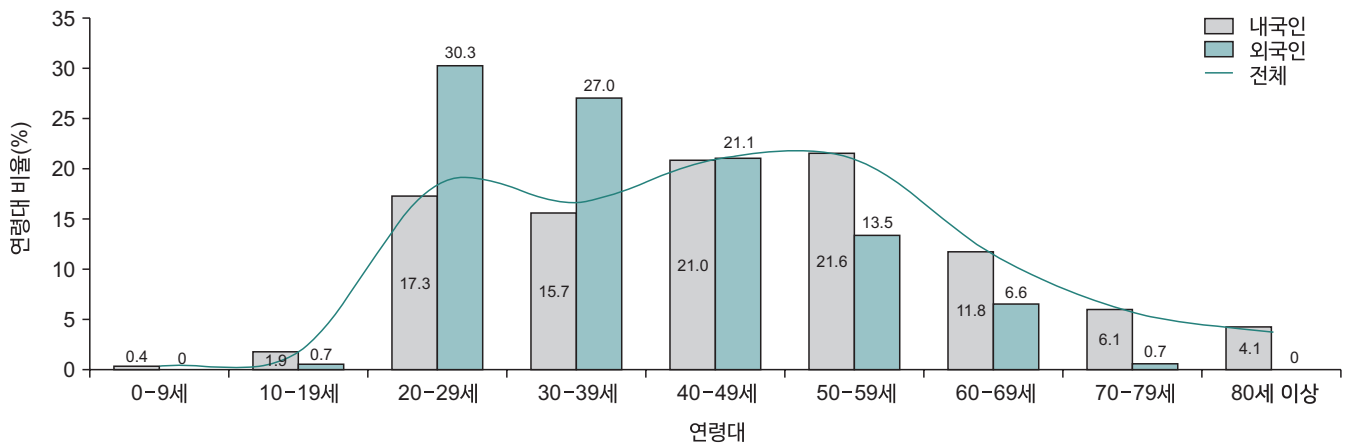


그림 2. 2014-2024년 내·외국인 급성 B형 간염 연령대 분포

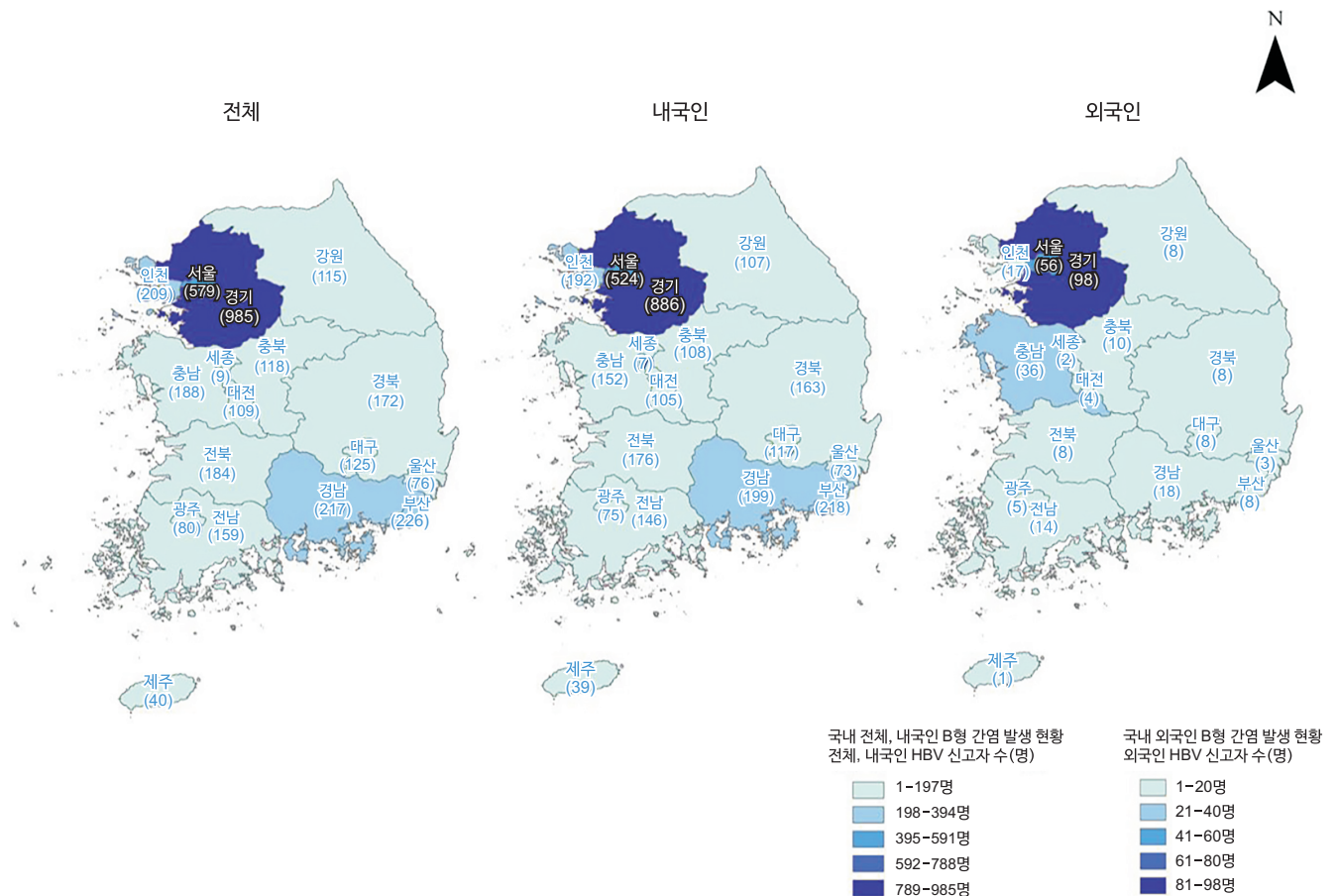


그림 3. 2014-2024년 국내 전체, 내국인, 외국인 급성 B형 간염 환자의 신고 지역 현황

HBV=(acute) hepatitis B virus.

다. 전체 및 내국인은 경기, 서울, 부산, 경남, 인천 순으로 신고가 많았으며, 이는 2024년 기준 주민등록인구 통계와 유사하였다[15]. 외국인의 경우 경기, 서울, 충남, 경남, 인천 순으

로 신고가 많았고, 이는 2024년 인구총조사 기반 등록 외국인 인구 분포와 유사하였다[15]. 즉, 내·외국인 모두 지역별 거주자가 많은 지역에서 신고가 집중되는 양상을 보였다.

2. 2014-2024년 외국인 급성 B형 간염 환자 특성

결과 1에서 확인한 바와 같이, 외국인의 신고 양상은 내국인과 신고 추세, 성별, 지역 분포에서 유사하였으나, 연령대 분포에서는 차이가 있었다. 이에 외국인 환자의 특성을 보다 구체적으로 파악하기 위해 기술분석을 실시하였다.

분석기간 동안 외국인 급성 B형 간염 환자의 출신 대륙별 현황을 보충 그림 2 (available online)에 제시하였다. 가장 많이 보고된 출신 대륙은 동북아시아로 116명(38.2%)이었으며, 이 중 중국 국적이 100명(32.9%)으로 가장 많았다. 전체적으로 아시아 출신이 전체의 약 85%를 차지하였고, 주요 국적은 중국 다음으로 베트남 36명(11.8%), 태국 34명(11.2%), 우즈베키스탄 23명(7.6%), 몽골 13명(4.3%) 순으로 나타났다.

신고자료 기반 인구학적 특성은 표 1에 제시하였다. 직업의 경우 '기타'가 가장 큰 비중을 차지하였으나(137명, 45.1%) 이를 제외하면 무직 59명(19.4%)과 생산·단순노무직 62명(20.4%)이 유사한 비중으로, 합계 약 40%를 차지하였다. 환자의 대부분은 신고 시 생존 상태였고(99.7%), 진단·신고 기관은 주로 종합병원(81.9%)이었다.

역학조사서 기반 임상 및 역학적 특성을 표 2에 제시하였다(n=243, 전체 외국인 신고 환자 304명의 79.9%). 외국인의 대부분은 신고 당시 임상증상을 호소하였으며, 증상 발생 후 1주일 이내에 진단·신고된 경우가 149명(61.3%)으로 가장 많았다. 주요 진단 경위는 증상발현 또는 건강 문제를 계기로 검사·진단을 받은 경우가 214명(88.1%)이었다. 임상 증상 종류로는 '기타'를 제외하고 황달이 113명(46.5%)으로 가장 많아, 극한 피로 67명(27.6%), 오심 56명(23.0%), 식욕 부진 46명(18.9%), 근육통 27명(11.1%)보다 뚜렷하게 높은 빈도를 보였다.

역학적 특성에서 급성 B형 간염 잠복기(60-150일) 내 확진자와 접촉력이 있다고 보고된 경우는 33명(13.6%)이었다. 이와 별개로 혈액매개 감염과 관련된 위험 요인이 보고된 경

우는 중복 응답을 고려하더라도 대상자가 50명 미만으로 전체 대비 소수에 불과했다. B형 간염 백신 접종력 조사 결과, 최소 1회 이상 접종력이 확인된 환자는 총 4명(1.6%)으로 매우 적었으며, 나머지는 접종 여부를 확인할 수 없었다.

그 외 역학조사서에 기록된 역학조사관 의견을 통해 조사과정에서의 어려움도 일부 확인할 수 있었다. 확보된 조사서에 관련 내용이 모두 기재된 것은 아니었으나, 보고된 애로사항 중 가장 많은 것은 의사소통의 어려움 44건(18.1%)이었다. 그 외 연락이 닿지 않는 경우가 19건(7.8%), 환자가 소속된 직장·시설 또는 진료 의료기관에 의존하여 조사가 제한적으로 수행된 경우 18건(7.4%) 등이 있었다.

표 1. 2014-2024년 외국인 급성 B형 간염 인구학적 특성(신고자료 기반)

구분	명(n)	%
총계	304	100
직업		
생산·단순노무직	62	20.4
농·축산·어업	7	2.3
학생	7	2.3
서비스직	6	2.0
사무직	6	2.0
주부	6	2.0
전문가	2	0.7
기타	137	45.1
무직	59	19.4
조사중	12	3.9
신고당시 생존상태		
생존	303	99.7
사망	1	0.3
종별 신고의료기관		
종합병원급 이상	249	81.9
병원급	42	13.8
의원급	12	3.9
보건소	1	0.3

표 2. 2014-2024년 외국인 급성 B형 간염 임상적, 역학적 특성(역학조사서 기반)

구 분	명(n)	%
총계	243	100
증상일-신고일 소요기간		
1주일 이내	149	61.3
2주일 이내	55	22.6
3주일 이내	19	7.8
1달 이내	8	3.3
1달 이후	6	2.5
해당 없음(무증상)	6	2.5
진단경위		
증상발현	153	63.0
간수치 상승에 대한 평가	28	11.5
타 질환 치료 중 발견	21	8.6
건강검진	12	4.9
조사 중	5	2.1
미해당(문항 없음)	24	9.9
임상증상(중복체크)		
황달	113	46.5
극한피로	67	27.6
오심	56	23.0
식욕부진	46	18.9
근육통	27	11.1
흑뇨	19	7.8
기타	120	49.4
감염 위험요인: 확진자 접촉력		
있음	33	13.6
없음	210	86.4
감염 위험요인: 잠복기 내 위험요인(중복체크)		
침습적 의료행위	30	12.3
침습적 시술	8	3.3
혈액 관련 위험요인	4	1.6
기타 행위(음주, 약물복용)	2	0.8
B형 간염 예방접종		
완전접종(3회)	1	0.4
불완전 접종(3회 미만)	3	1.2
확인 불가	239	98.4
역학조사 시 어려움(중복체크)		
의사소통 어려움	44	18.1
연락 불가	19	7.8
제한된 조사환경(의료기관, 소속 시설 의존)	18	7.4

논 의

본 보고서는 2014-2024년 동안 국내 법정감염병 감시

체계에 보고된 급성 B형 간염 중 외국인 환자를 중심으로
내·외국인의 신고 양상을 비교하고, 외국인의 역학적 특성을
분석하였다.

외국인 환자의 성별 분포는 내국인과 유사한 양상을 보였으나, 연령대별 분포에서는 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다. 내국인의 경우 40-50대에서 전체의 약 40% 이상을 차지한 반면, 외국인은 20-30대에서 전체의 약 57%를 차지하였다. 이러한 결과는 양 집단 간 상이한 인구학적 구조의 영향을 받았을 것으로 추정된다. 실제로 2023년 주민등록인구 기준 내국인은 50대(16.9%), 40대(15.4%), 60대(14.9%) 순으로 높은 비중을 보였으나, 2024년 등록 외국인 기준에서는 20대(30.5%), 30대(28.7%), 40대(14.5%) 순으로 나타나 전반적으로 젊은 연령층이 많은 구조적 특성을 보였다. 이는 내·외국인 간 발생 양상의 비교 시 질병 특성뿐 아니라 모집단의 연령 구조 차이를 함께 고려할 필요를 시사한다.

외국인 환자의 약 85%는 아시아 출신으로 중국, 베트남, 태국, 우즈베키스탄 순으로 많아 2023년 기준 국내 체류 외국인 다빈도 국적 순위와 유사하였다[14]. 이는 우리나라와 인접한 국가들의 지리적 특성이 반영된 결과로 보인다. 특히 중국(유병률 5.0%), 베트남(6.2%)은 B형 간염 고유병률 국가로 알려져 있어, 해당 국가 출신 외국인의 비중이 높은 점은 국내 외국인 B형 간염 관리에서 주목해야 할 부분이다[19]. 또한, 몽골은 국내 체류 외국인 순위에서 11위지만, 환자 발생은 5번째로 높아 상대적으로 많이 보고되었다[14]. 몽골의 B형 간염 유병률은 5.4%로 우리나라의 약 2배 이상이며, B형 간염 감염에서만 증식가능한 D형 간염의 유병률도 약 10%로 높은 수준으로 보고되고 있다[2,19]. 이러한 결과는 국내 체류 외국인 중 B형 간염 고유병률 국가 출신이 상당수를 차지함에 따라, 외국인 대상 진단검사, 치료, 예방에 관한 인식 강화와 제도 개선이 필요함을 시사한다.

외국인의 바이러스성 간염 문제는 국외에서도 공통적으로 주목받고 있다. 유럽(European Union/European Economic Area)에서는 이민자들의 만성 B형·C형 간염이 질병 부담의 높은 비중을 차지하고 있어, 이를 관리하기 위한 정책적 관심의 필요성을 강조하였다[20]. 미국 또한 난민·이민자 대

상 건강관리 지침을 마련하여 B형·C형 간염 선별검사, 예방 접종 및 문화·언어적 지원을 제공하도록 권고하고 있다[21]. 이러한 국외 사례들은 국내에서도 외국인의 급성 B형 간염 예방과 관리에 대한 전략적 접근이 필요함을 뒷받침한다.

현재 국내 외국인 관련 정책으로는 외국인 근로자를 포함하여 비자 취득 후 외국인 등록 시 건강검진 및 B형 간염 검사 실시를 의무화하였다[22]. 6개월 이상 장기체류 외국인은 국민건강보험 의무가입 대상이며, 이에 따라 내국인과 동일하게 국가건강검진 대상에 해당된다[23]. 국민건강보험 미가입자인 경우에도 일부 지방자치단체에서는 자체예산으로 고용허가제(E-9 비자 등) 외국인 근로자, 결혼이민자 등에게 결핵, 인간면역결핍바이러스(human immunodeficiency viruses), B형 간염, C형 간염, 매독 등 일부 감염병의 검진과 상담을 무료로 제공 중이며, 또한 보건복지부와 민간단체 등의 협력 하에 외국인 근로자 등을 대상으로 의료지원 사업도 진행 중이다[24,25].

외국인 환자의 주요 직업 분포에서 무직과 단순 생산·노무직이 약 40%를 차지하였는데, 이는 간접적으로 상당수의 외국인이 경제적 여유가 부족할 가능성을 시사하며, 진단 이후에도 치료 또는 검사 등 의학적 관리가 지속적으로 이어지지 못할 위험이 있음을 보여준다. 실제로 민간단체 및 학회 주도로 실시한 외국인 근로자 대상 무료 간 건강검진 보고에서도 많은 환자들이 경제적·시간적 제약으로 정기 검진을 받지 못해 간경변증이나 간암으로 진행된 상태에서 진료를 받는 경우가 많았다고 보고되었다[2].

외국인 환자의 대부분은 증상발현이나 건강 문제로 의료기관을 방문한 후 진단되었고, 주로 호소하는 임상증상은 특이 증상인 황달이 가장 흔했다. 그러나 통상적으로 급성 B형 간염 성인의 약 절반은 무증상으로 진행되고[1], 황달은 질환이 어느 정도 진행된 후 나타나는 증상이라는 점을 고려할 때, 실제 외국인들에서 급성 B형 간염 발생은 과소 진단·과소 보고되었을 가능성이 있다. 따라서 무증상으로 발생 가능한

급성 B형 간염에 대한 경각심을 높이고, 국내 체류 외국인이 현재 이용할 수 있는 건강검진 및 관리 제도의 적극적 수검과 활용을 촉진할 수 있도록 인식 제고가 필요하다.

외국인 환자의 대부분에서는 B형 간염 백신 접종력을 확인할 수 없었다. 이는 본국에서 접종을 받았음에도 불구하고 조사 과정에서의 기록 누락, 국가별 예방접종률과 정책의 차이, 국내 입국 시 접종력 확인이나 시행을 규정하는 제도의 부재 등이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 현재 우리나라는 주산기 감염예방사업과 외국인 관리번호 발급자 대상 국가예방접종 등을 통해 내·외국인 모두에게 접종을 지원 중이나, 그 대상이 어린이에 한정되어 있다[26]. 따라서 예방접종력이 없거나 확인되지 않은 성인 외국인을 대상으로 예방접종의 필요성을 홍보하고, 접종을 권고해야 한다.

무엇보다 법정감염병 신고 이후 외국인 환자 역학조사에서 가장 큰 어려움 중 하나인 의사소통 문제는 B형 간염뿐만 아니라 대부분의 감염병 역학조사에서 공통적으로 나타나는 구조적 문제로 평가된다. 그러나 최근 인공지능(artificial intelligence) 기반 통역 및 번역 기술이 빠르게 발전하면서 역학조사관들이 활용할 수 있는 수단의 폭이 넓어지고 있어, 개인 정보 보호와 보안이 확보된 환경에서 이러한 기술을 적절히 활용한다면 의사소통의 어려움은 점차 완화될 것으로 기대된다.

본 보고서는 질병관리청 방역통합정보시스템에 등록된 발생신고 자료 및 역학조사 자료를 기반으로 분석을 수행하였다. 이에 따라 조사 과정에서 입력 오류가 발생했을 가능성과, 후향적으로 수행하는 역학조사 특성상 임상증상, 진단 경위, 위험 요인 항목 등에서 회상 비뚤림과 관련된 정확성이 저하되었을 가능성을 배제할 수 없다. 또한, 역학조사는 원칙적으로 신고된 모든 환자를 대상으로 수행 및 등록되어야 하나, 실제로 약 80%만 등록되어 분석에서 활용할 수 있는 자료가 제한적이었다.

이와 더불어, 본 보고서는 감염병 감시체계 기준에 따라

‘급성 B형 간염’으로 신고된 사례를 분석 대상으로 하였으나, 현재의 진단 신고 기준은 급성 B형 간염과 만성 B형 간염의 급성 악화 또는 재활성화 사례를 명확히 구분하는 데 한계가 있다. 비록 감염병 신고를 위한 진단기준 고시에는 ‘6개월 이내 진단 이력이 없어야 한다’는 전제조건이 명시되어 있으나, 외국인 환자의 경우 본국에서의 감염 이력 및 진료기록 확인이 어려워, 실제로는 과거 감염 이력이 누락되었거나, 만성 감염자의 재활성화 사례가 급성으로 분류되어 신고되었을 가능성도 존재한다. 또한, 신고자료 및 역학조사 자료에는 anti-HBc IgM, HBeAg, hepatitis B virus DNA 등 진단검사의 정량적 결과정보가 포함되어 있지 않아, 개별 사례의 감염 경과를 명확히 구분하거나 해석하는 데에도 제한이 있었다. 따라서 본 연구 결과의 해석 시 이러한 진단 기준 및 자료 구조상의 제한점이 존재한다.

그럼에도 불구하고, 본 보고서는 국내 전수감시 자료를 활용하여 대표성을 확보하였으며, 지금까지 부족했던 외국인 관련 분석을 수행하였다는 점에서 의의가 있다. 본 보고서의 결과를 바탕으로 증가하는 국내 체류 외국인 인구와 이들의 취약성을 고려한 예방접종 홍보 강화, 기존 건강검진 및 관리제도 활용 촉진, 의사소통 지원과 원활한 의료서비스 이용 환경 조성 등을 포함하는 체계적·맞춤형 급성 B형 간염 예방 및 관리 공중보건 전략 수립의 필요성이 시사된다. 아울러, 외국인 환자의 상당수가 B형 간염 고유병률 국가 출신임을 고려할 때, 향후에는 급성 감염 예방에 국한하지 않고, 만성 감염자의 조기 발견, 보건교육, 치료 연계 기반 강화 및 산모 관리의 지속성 강화 등 외국인 만성 B형 간염에 대한 스크리닝과 추적관리를 포함한 통합적인 공중보건 전략 또한 병행되어야 할 것이다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: Young Joon Park is an editorial board member of the journal but was not involved in the review process of this manuscript. Otherwise, there is no conflict of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: SKK, SHC. Data curation: SKK. Formal analysis: SKK. Investigation: SKK. Methodology: SKK, SLK, YJP. Project administration: SKK, DHK, AYL. Resources: SKK. Software: SKK. Supervision: YJP. Validation: SLK, YSK, SHC, YJP. Visualization: SKK. Writing – original draft: SKK, SLK. Writing – review & editing: SLK, DHK, JHL, MSK, YSK, AYL, SHC, YJP.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Guidelines for the management of viral hepatitis, 2025 [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20507020000&bid=0019&list_no=727184&act=view
2. Korean Association for the Study of the Liver (KASL). White paper on liver disease in Korea: 2024 update [Internet]. KASL; 2023 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://new.kasl.org/bbs/index.html?code=ency&category=&gubun=&idx=&page=1&number=5955&mode=view&order=&sort=&keyfield=&key=>
3. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Standards and methods for immunization [Internet]. KDCA; 2023 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20504000000&bid=0019&tag=&act=view&list_no=722841
4. Chun BC. Public policy and laws on infectious disease control in Korea: past, present and prospective. *Infect Chemother* 2011;43:474-84.
5. Lee DH. Current status of infectious disease surveillance system at the Korea Centers for Disease Control and Prevention. *HIRA Policy Brief* 2016;10:7-12.
6. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC); Korea University College of Medicine, Department of Preventive Medicine. Evaluation of sentinel surveillance data for acute hepatitis B [Internet]. KCDC; 2010 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://kdca.go.kr/board.es?mid=a20101000000&bid=0034&list_no=12440&act=view
7. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Annual report on infectious disease notifications, 2024 [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://dportal.kdca.go.kr/pot/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsSn=1010&q_bbsDocNo=20250626112241525&q_cls_fNo=1
8. World Health Organization (WHO). Hepatitis B fact sheet [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-b>
9. World Health Organization (WHO). Viral hepatitis B and C burden of disease, WHO policy adoption status in countries, 2025 [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/hq-hiv-hepatitis-and-stis-library/2025-whd-hep-information-sheet.pdf>
10. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC). Certification for achieving the regional goal of hepatitis B control in Korea [Internet]. KCDC; 2008 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://kdca.go.kr/board.es?mid=a20101000000&bid=0034&list_no=12142&act=view
11. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) [Internet]. KDCA; n.d. [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/archive/wsiStatsClct.do>
12. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC), National Institute of Health. Seroepidemiology of hepatitis B among preschool children in Korea [Internet]. KDCA; 2008 [cited 2025 Sep 5]. Available from: https://kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20602010000&bid=0034&list_no=12128&act=view
13. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). 2024 Nationwide vaccination coverage rates for children [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available

- from: <https://nip.kdca.go.kr/irhp/infm/goNatnVcntStat-View.do>
14. Ministry of Justice (MOJ). Korea immigration statistics, 2025 [Internet]. MOJ; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://www.moj.go.kr/moj/2412/subview.do>
 15. Korean Statistical Information Service (KOSIS). Resident registration population statistics [Internet]. KOSIS; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Flist_id%3DA8%26obj_var_id%3D%26seqNo%3D%26query%3D%EC%99%B8%EA%B5%AD%EC%9D%B8%EB%93%B1%EB%A1%9D%26tblId%3DDT_1B040A8%26vw_cd%3DMT_ZTITLE%26language%3Dkor%26orgId%3D111%26conn_path%3DMT_ZTITLE%26itm_id%3D%26lang_mode%3Dko%26
 16. Son I. The dynamics of non-governmental healthcare services for immigrants in South Korea: discriminatory medical insurance system and responses of non-governmental organizations. *Econ Soc* 2023;137:165-201.
 17. Shin YN, Hasegawa S, Choi KJ. Health status analysis of undocumented migrants and proposal for improved access to health and medical services: focusing on literature review and expert interview. *J Public Soc* 2019;9:40-84.
 18. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Notification criteria for infectious diseases: official notice [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://law.go.kr/admRulSc.do?menuId=5&subMenuId=41&tabMenuId=183&query=%EA%B0%90%EC%97%BCEB%B3%91%20%EC%A7%84%EB%8B%A8#liBgcolor0>
 19. CDA Foundation. Polaris observatory: global distribution [Internet]. CDA Foundation; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://cdfound.org/polaris/global-distribution/>
 20. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Epidemiological assessment of hepatitis B and C among migrants in the EU/EEA [Internet]. ECDC; 2016 [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/epidemiological-assessment-hepatitis-b-and-c-among-migrants-eueea>
 21. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Viral hepatitis: refugee health domestic guidance [Internet]. CDC; 2025 [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.cdc.gov/immigrant-refugee-health/hcp/domestic-guidance/viral-hepatitis.html>
 22. Ministry of Justice (MOJ). Designated medical institutions: health screening subjects and items [Internet]. MOJ; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: https://www.hikorea.go.kr/board/BoardNtcDetailR.pt?BBS_SEQ_GB_CD=&BBS_SEQ=1&BBS_GB_CD=BS10&NTCCTT_SEQ=365&page=1
 23. National Health Insurance Service (NHIS). National Health Insurance Act: eligibility criteria for long-term resident overseas Koreans and foreigners [Internet]. NHIS; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.nhis.or.kr/lm/lmxsrvt/law/lawDetail.do?SEQ=41&LAWGROUP=1>
 24. Gangnam-gu Public Health Center. Health screening program for foreign workers and marriage immigrants [Internet]. Gangnam-gu Public Health Center; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://health.gangnam.go.kr/web/checkup/checkup/inspection/sub05.do>
 25. Ministry of Health and Welfare (MOHW). Medical support program for foreign workers and others [Internet]. MOHW; n.d. [cited 2025 Sep 10]. Available from: https://www.mohw.go.kr/board.es?mid=a10107010000&bid=0043&act=view&list_no=1484504&tag=&cgc_code=&list_depth=1
 26. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Guidelines for the national immunization program, 2025 [Internet]. KDCA; 2024 [cited 2025 Sep 10]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20507020000&bid=0019&list_no=726815&act=view

Surveillance Report

Trends and Epidemiological Characteristics of Acute Hepatitis B among Foreign Nationals in the Republic of Korea, 2014–2024

Seul-Ki Kang¹ , Seunghyun Lewis Kwon¹ , DaeHyun Koh¹ , Jihyeon Lee¹ , Min-soo Kim¹ , Yunsuk Kim² , Ayoung Lee³ ,
Seung-Hoon Chae⁴ , Young Joon Park^{1*} 

¹Division of Infectious Disease Control, Department of Infectious Disease Policy, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea, ²Division of General Affairs, Honam Regional Center for Disease Control and Prevention, Korea Disease Control and Prevention Agency, Gwangju, Korea, ³Division of Chronic Disease Management, Gyeongnam Regional Center for Disease Control and Prevention, Korea Disease Control and Prevention Agency, Busan, Korea, ⁴Division of Planning and Finance, Department of Planning and Coordination, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Objectives: This report compares reporting patterns of acute hepatitis B between Koreans and foreign nationals, focusing on cases reported to Korea Disease Control and Prevention Agency's infectious disease surveillance system from 2014 to 2024. It also describes the general and epidemiologic features of foreign nationals.

Methods: A total of 3,591 cases (3,287 Koreans and 304 foreign nationals) were analyzed using surveillance and epidemiologic investigation data. Factors such as reporting trends, sex, age group, and geographic distribution were compared between Koreans and foreign nationals. For foreign nationals, countries of origin and socio-demographic, clinical, and epidemiological characteristics were also described.

Results: Reporting trends, sex, and geographic distribution were similar, whereas age group distribution differed. Koreans were mainly in their 40s–50s (approximately 40%), while foreign nationals were mostly in their 20s–30s (approximately 57%). Approximately 85% of foreign nationals were from Asia, especially China and Vietnam, where hepatitis B prevalence is high. Nearly 40% were unemployed or engaged in manual and low-skilled work. The main symptom was jaundice. Vaccination history was mostly unknown, and language barriers were the major challenge during field investigations.

Conclusions: Foreign nationals with acute hepatitis B are an important group for public health management, given the increasing number of foreign residents in Republic of Korea. Most are from high-prevalence countries, and limited access to healthcare may lead to under-diagnosis or under-reporting. Moreover, their vaccination history was largely undeterminable, which could pose a significant risk factor. Therefore, improving vaccination coverage for foreign nationals and developing tailored management strategies are warranted.

Key words: Viral hepatitis; Acute hepatitis B; Foreign nationals; Epidemiology

*Corresponding author: Young Joon Park, Tel: +82-43-719-7140, E-mail: pahmun@korea.kr

Young Joon Park's current affiliation: Division of Emergency Preparedness and Response, Department of Infectious Disease Emergency Preparedness and Response, Korea Disease Control and Prevention Agency.

Key messages

① What is known previously?

Hepatitis B is a major global burden. In the Republic of Korea, prevalence among nationals has declined with vaccination drives and rigorous policies. Yet, little analysis exists on foreign nationals, whose numbers are rising and who are often from high-prevalence countries.

② What new information is presented?

Korea Disease Control and Prevention Agency data (2014–2024) showed similar trends year-on-year, sex, and region between Koreans and foreign nationals, but age group distribution differed (Koreans: 40s–50s; foreign nationals: 20s–30s). Most were from Asia, especially China and Vietnam. About 40% of the population was unemployed or involved in unskilled work. Vaccination history was mostly unknown, and communication barriers were frequent during epidemic investigation.

③ What are implications?

Tailored strategies including vaccination drives, diagnostic access, and communication support are needed.

Introduction

Acute hepatitis B is a liver infection caused by the hepatitis B virus (HBV). This bloodborne pathogen is primarily transmitted through various routes, such as perinatal infection, sexual contact, blood transfusion, and use of contaminated needles, piercings, tattoos, or razors. Major symptoms include jaundice, dark urine, loss of appetite, nausea, myalgia, extreme fatigue, and tenderness in the right upper abdomen, although approximately 50% of infected adults remain asymptomatic [1]. Although most adult patients recover spontaneously within 6 months of infection, approximately 95% of infants infected at birth develop chronic hepatitis, making vaccination at 0,

1, and 6 months the most important and effective preventive measure [2,3]. No specific isolation precautions have been established for acute hepatitis B; however, as patients remain infectious while the hepatitis B surface antigen (HBsAg) is present in the blood, standard precautions should be taken to prevent exposure to blood and bodily fluids [1].

Under the Republic of Korea (ROK)'s Infectious Disease Control and Prevention Act of 2000, acute hepatitis B was classified as a Group 2 infectious disease that can be controlled through vaccination. Sentinel surveillance for acute, maternal, and perinatal hepatitis B was initiated mainly in hospitals in 2001 [4,5]. However, limitations in assessing the national incidence led to the transition to mandatory surveillance in 2010 [6]. Following the 2016 revision of the diagnostic criteria, only acute hepatitis B has remained under surveillance [7].

According to the World Health Organization (WHO), hepatitis B, along with hepatitis C, represents a major global health burden. As of 2022, approximately 304 million people worldwide were affected by viral hepatitis, with more than 80% of them estimated to be infected with hepatitis B. Moreover, approximately 3,500 people die from hepatitis B each day, and the mortality rate exceeds 20 deaths per 100,000 population in more than 60 countries. The disease burden is particularly high in the Western Pacific and African regions [8]. As of 2025, 129 countries have implemented prenatal screening policies, and 147 countries have introduced birth-dose vaccination for infants, given that perinatal transmission is one of the main routes of hepatitis B infection. However, the global vaccination rate remains only 43%, with a particularly low rate of 17% in the African region [9].

In contrast, in ROK, HBsAg positivity rate among Koreans surveyed in 1982 was 8.6%, and particularly high among

teenagers at 14.2% [2]. The HBsAg positivity rate indicates the presence of HBV in the body and is generally used to denote prevalence. Vaccination was officially approved following the domestic development of the vaccine in 1983, and the “Five-Year Plan to Eliminate Hepatitis” was established in 1984. In 1992, vaccination for infants born to mothers with hepatitis B was recommended by the academic community, and in 1995, the vaccine was incorporated into the National Immunization Program (NIP) for infants and young children. Subsequently, a government-led perinatal infection prevention program was launched in 2002 [2].

Efforts by both the public and private sectors contributed to a gradual decline in the prevalence rate, an achievement that was recognized globally in 2008 when the WHO certified the nation’s hepatitis B management performance [10]. The HBsAg positivity rate in ROK was reported to be 2.4% as of 2023, while that among children aged 4–6 years was 0.2% as of 2007 [11,12]. As of 2024, the national vaccination rate among children remains high at approximately 97% [13].

As of 2024, approximately 2.65 million foreigners resided in ROK, accounting for 5.2% of the total population. This proportion had decreased from 4.9% (approximately 2.52 million people) in 2019, before the coronavirus disease 2019 pandemic, to 3.8% (approximately 1.96 million people) in 2021, but subsequently increased to 4.9% (approximately 2.51 million people) in 2023 and 5.2% in 2024. From 2018 to 2024, the largest group by nationality was Chinese (36.2%), followed by Vietnamese (11.5%), Thai (7.1%), American (6.4%), and Uzbekistani (3.6%) [14]. Based on census data of registered foreigners from 2014 to 2024, the sex ratio was approximately 6:4 (male to female), and individuals in their 20s and 30s comprised 56–58% of the total [15].

Foreign nationals tend to have more limited access to healthcare services compared with local citizens [16,17]. Those from countries with a high prevalence of hepatitis B are known to have a greater burden of liver disease, which may affect domestic public health [2]. Although this situation calls for an appropriate public health response, systematic information on the issue are lacking. Therefore, this report aims to identify and describe the status and epidemiological characteristics of acute hepatitis B among foreigners reported to the national infectious disease surveillance system from 2014 to 2024.

Methods

1. Reporting Criteria

According to Article 3-2 (“Hepatitis B”) of the reporting criteria for infectious diseases, acute hepatitis B patients are defined as individuals with no history of hepatitis B diagnosis within the past 6 months who tests positive for both the specific antigen (HBsAg) and the specific antibody (IgM anti-HBc), or for the specific antibody alone [14]. Medical institutions are required to report such cases to the designated public health center via fax or through the Integrated Infectious Disease Surveillance System website (<https://eid.kdca.go.kr/isc/WebCube/setup.htm>) within 24 hours of diagnosis [1].

Acute hepatitis B patients are generally defined as those exhibiting clinical symptoms consistent with acute hepatitis and confirmed infection with the pathogen specified in the diagnostic criteria [1]. However, as patients may also be asymptomatic, cases with confirmed infection are also included regardless of the presence or absence of clinical symptoms [18].

2. Analysis Period and Study Population

The analysis period spanned from January 1, 2014 to December 31, 2024. During this period, a total of 3,591 individuals who were reported to the Korea Disease Control and Prevention Agency's (KDCA) Integrated Disease Control Information System met the diagnostic criteria for acute hepatitis B. Of these, Korean nationals accounted for 3,287 cases (91.5%) and foreign nationals for 304 cases (8.5%).

The primary focus of this report was the 304 foreign national cases; however, the Korean national cases were also included as a comparison group. Case report data and epidemiological investigation reports registered in the Integrated Disease Control Information System were used for analysis. The dataset comprised all 304 (100%) case reports and 243 (79.9%) epidemiological investigation reports (Supplementary Figure 1; available online).

reporting trends, as well as sex and age distributions, were examined for both groups. Pearson's correlation analysis was used to compare annual trends, with results presented as correlation coefficients (r) and p -values. A p -value less than 0.05 was considered statistically significant. Differences in distribution by sex and age group were evaluated using the chi-square test.

The second stage consisted of a descriptive analysis to determine the characteristics of foreign national patients and the distribution of patients by country of origin. Demographic data were obtained from case reports, and clinical and epidemiological information was derived from epidemiological investigation reports. Results are presented as frequencies (n) and percentages (%). All analyses were performed using SAS version 9.4 (SAS Institute Inc.) and ArcGIS Pro version 3.4.0 (Esri).

3. Analysis Method

The analysis was conducted in two stages. The first stage involved a comparative analysis to assess differences in reporting trends between foreign and Korean nationals. Annual

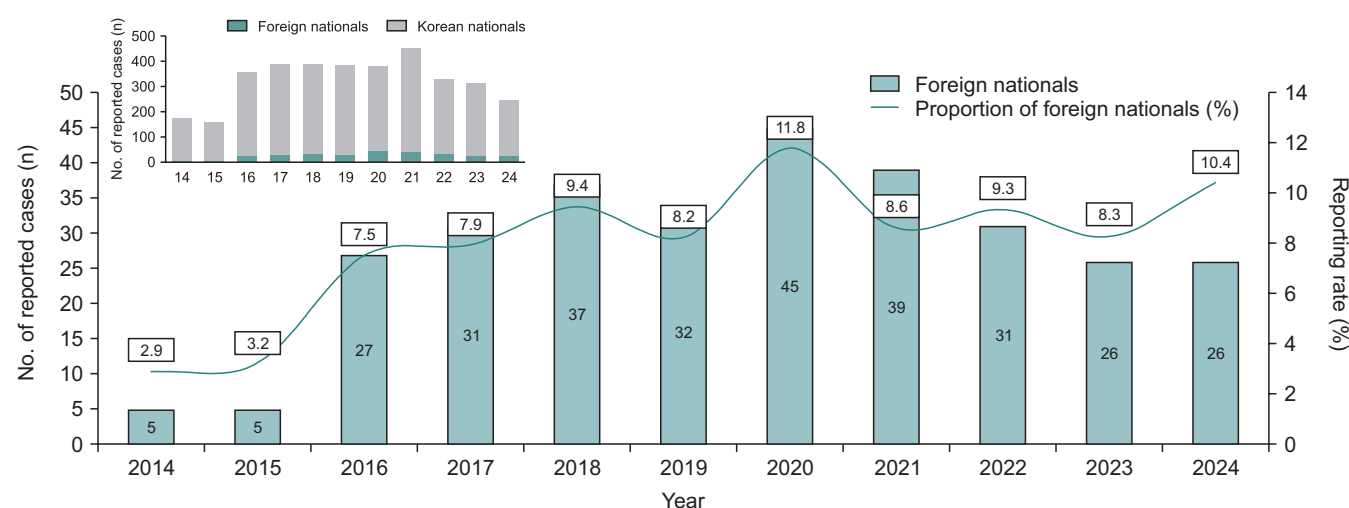


Figure 1. Annual trend of reported acute hepatitis B cases among foreign nationals in the Republic of Korea, 2014–2024

Results

1. Comparison of Acute Hepatitis B Reporting Patterns between Korean and Foreign Nationals, 2014–2024

Figure 1 shows the annual and nationality-specific numbers of reported acute hepatitis B cases from 2014 to 2024. From 2014 to 2015, approximately 150–170 cases were reported each year, after which the number increased to over 300 cases per year, peaking at 453 cases in 2021, before gradually declining to 250 cases in 2024. The proportion of foreign patients among all reported cases increased from approximately five cases annually (approximately 3% of the total) from 2014 to 2015 to over 30 cases annually (7–9%) after 2016. The number peaked at 45 cases (11.8%) in 2020 and subsequently averaged 30 cases per year (8–10%) until 2024. Pearson's correlation analysis revealed a strong positive correlation ($r=0.89$, $p<0.01$). In addition, analysis of the monthly number of reported cases during the analysis period did not show any significant seasonal variation, a finding consistent for both foreign and Korean nationals.

The sex distribution was similar between Korean nationals

(1,940 male [63.1%], 1,214 female [36.9%]) and foreign nationals (198 male [65.1%], 106 female [34.9%]) ($p=0.51$).

The cumulative age group distribution of Korean and foreign nationals during the analysis period is presented in Figure 2. As Korean nationals accounted for over 90% of all cases, the overall age distribution closely resembled that of Korean nationals. Among Korean nationals, the proportion of cases among Korean nationals aged 20–50 years was relatively even, ranging between 15% and 20% across each age group. The highest proportions were observed in individuals in their 40s (689 cases [21.0%]) and 50s (710 cases [21.6%]), together comprising more than 40% of total cases. In contrast, among foreign nationals, the highest number of reported cases occurred in individuals in their 20s (92 cases [30.3%]), followed by those in their 30s (82 cases [27.0%]). Taken together, these two age groups accounted for approximately 57% of all foreign cases. The number of reported cases declined with increasing age, and this age distribution differed significantly between Korean and foreign nationals ($p<0.01$).

Figure 3 presents the cumulative number of reported cases by province for both Korean and foreign nationals. The highest numbers of reported cases were observed in Gyeonggi, Seoul,

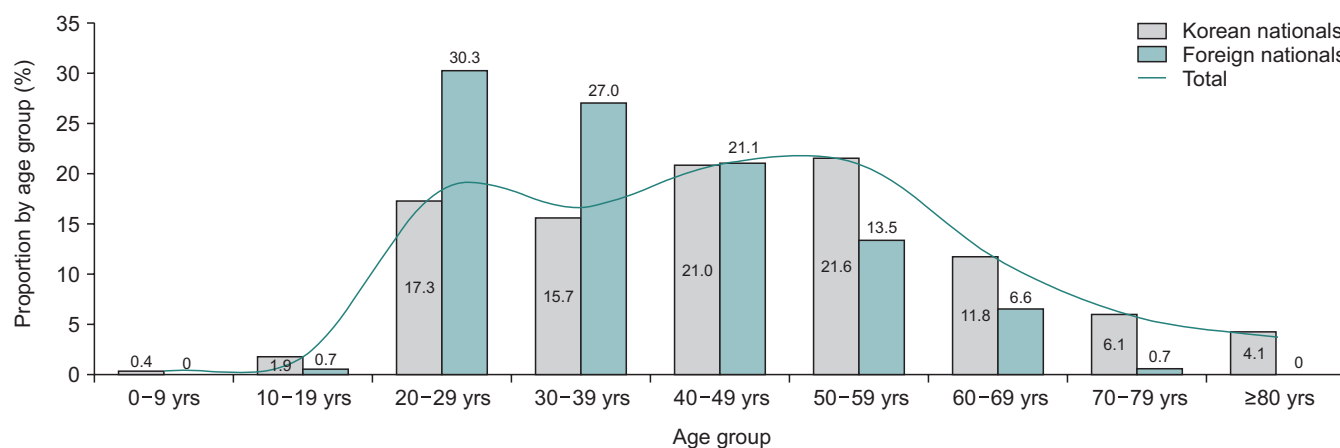


Figure 2. Age group distribution of reported acute hepatitis B cases among Korean and foreign nationals in the Republic of Korea, 2014–2024

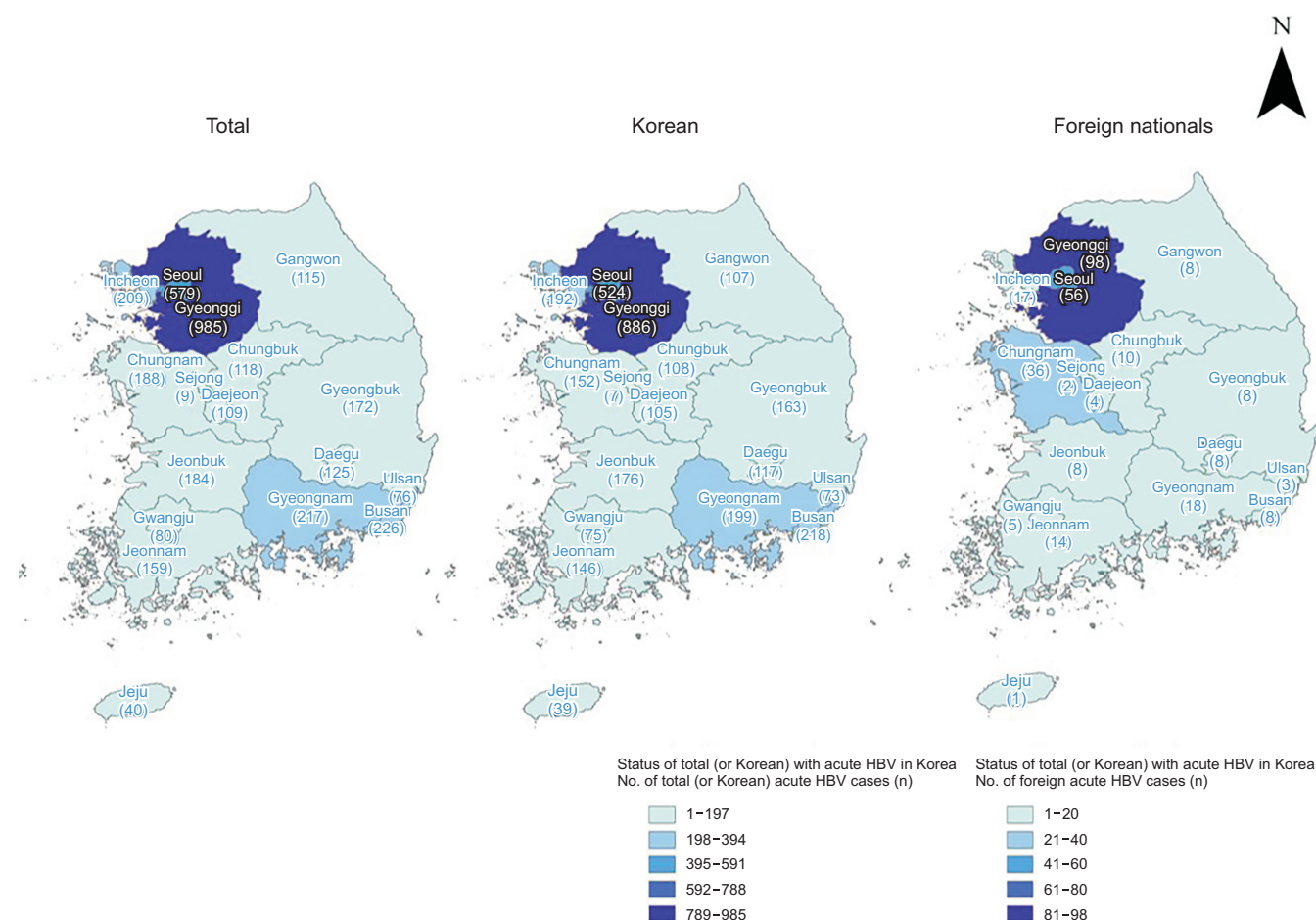


Figure 3. Geographic distribution of reported acute hepatitis B cases among the total population, Korean nationals, and foreign nationals in the Republic of Korea, 2014–2024

HBV=(acute) hepatitis B virus.

Busan, Gyeongnam, and Incheon for both the total population and Korean nationals, reflecting the geographic distribution of the population as of 2024 [15]. Among foreign nationals, the highest numbers were reported in Gyeonggi, Seoul, Chungnam, Gyeongnam, and Incheon, which is consistent with the 2024 census data [15]. In summary, both the Korean and foreign cases were concentrated in geographics with larger populations.

2. Characteristics of the Foreign Cases, 2014–2024

As observed in Results 1, the reporting patterns among

foreign nationals were similar to those of Korean nationals in terms of reporting trends, sex distribution, and geographic distribution, but differed in age group distribution. Therefore, a descriptive analysis was performed to better understand the characteristics of the foreign patients.

The distribution of foreign patients by continent of origin is shown in Supplementary Figure 2 (available online). The majority of cases were from Northeast Asia (116, 38.2%), of whom 100 (32.9%) were Chinese nationals. Approximately 85% of the foreign patients were from Asia, with Vietnam (36, 11.8%), Thailand (34, 11.2%), Uzbekistan (23, 7.6%), and Mongolia (13, 4.3%) being the most common nationalities

Table 1. General characteristics of foreign nationals with acute hepatitis B, Republic of Korea, 2014–2024 (based on notification data)

Category	n	%
Total	304	100
Occupation		
Production and unskilled labor	62	20.4
Agriculture, forestry, fisheries	7	2.3
Students	7	2.3
Service workers	6	2.0
Office workers	6	2.0
Homemakers	6	2.0
Professionals	2	0.7
Others	137	45.1
Unemployed	59	19.4
Unknown	12	3.9
Survival status at notification		
Alive	303	99.7
Deceased	1	0.3
Type of notifying medical institution		
General hospital or higher	249	81.9
Hospital	42	13.8
Clinic	12	3.9
Public health center	1	0.3

after China.

Demographic characteristics based on the case reports are presented in Table 1. In terms of occupation, “Other” accounted for the largest proportion (137, 45.1%). Unemployed individuals (59, 19.4%) and production and unskilled labor (62, 20.4%) had similar proportions, together comprising about 40% of all cases. Most of the patients were alive at the time of reporting (99.7%), and the majority of diagnoses and reports were made through general hospitals or higher (81.9%).

Clinical and epidemiological characteristics based on the epidemiological investigation data are shown in Table 2 (n=243, 79.9% of all 304 foreign cases). Most foreign patients exhibited clinical symptoms at the time of reporting, and 149

(61.3%) were diagnosed and reported within one week of symptom onset. Diagnoses were made primarily in response to symptom onset and health concerns (214, 88.1%). Among the reported symptoms (excluding “Other”), jaundice was the most common (113, 46.5%), followed by fatigue (67, 27.6%), nausea (56, 23.0%), anorexia (46, 18.9%), and myalgia (27, 11.1%).

Epidemiologically, 33 cases (13.6%) reported contact with a confirmed case during the acute hepatitis B incubation period (60–150 days). Meanwhile, fewer than 50 cases reported risk factors for bloodborne transmission, even when duplicate responses were considered. Furthermore, review of vaccination records showed that only four patients (1.6%) had received at least one dose of the hepatitis B vaccine; vaccination status was undetermined for all others.

Epidemiological investigation officers have highlighted challenges encountered during data collection. Although not all reports contained such information, the most frequently reported issue was communication barriers (44, 18.1%), followed by inability to contact cases (19, 7.8%), and reliance on workplaces/facilities affiliated with the case or medical institutions for information, which hindered the investigation in 18 cases (7.4%).

Discussion

This report compared the reporting patterns of Korean and foreign national patients with acute hepatitis B, extracted from the KDCA’s Integrated Disease Control Information System (2014–2024), and analyzed the epidemiological characteristics of the foreign cases.

The sex distribution of foreign cases was similar to that of

Table 2. Clinical and epidemiological characteristics of foreign nationals with acute hepatitis B, Republic of Korea, 2014–2024 (based on epidemiological investigation data)

Category	n	%
Total	243	100
Duration from symptom onset to notification		
Within 1 week	149	61.3
Within 2 weeks	55	22.6
Within 3 weeks	19	7.8
Within 1 month	8	3.3
More than 1 month	6	2.5
Asymptomatic	6	2.5
Reason for seeking medical attention		
Symptom onset	153	63.0
Evaluation due to elevated liver enzymes	28	11.5
Incidental finding during treatment for other condition	21	8.6
Health screening	12	4.9
Unknown	5	2.1
Not applicable (question not included)	24	9.9
Clinical symptoms (multiple responses allowed)		
Jaundice	113	46.5
Fatigue	67	27.6
Nausea	56	23.0
Anorexia	46	18.9
Myalgia	27	11.1
Dark urine	19	7.8
Others	120	49.4
Exposure history: contact with a confirmed case		
Yes	33	13.6
No	210	86.4
Exposure history: potential risk factors during the incubation period (multiple responses allowed)		
Invasive medical procedures	30	12.3
Invasive non-medical procedures	8	3.3
Blood exposure-related risk factors	4	1.6
Other behaviors (e.g., alcohol consumption, drug use)	2	0.8
Hepatitis B vaccination status		
Completed vaccination (3 doses)	1	0.4
Incomplete vaccination (<3 doses)	3	1.2
Unknown	239	98.4
Barriers to epidemiological investigation (multiple responses allowed)		
Language or communication barrier	44	18.1
Unable to contact the individual	19	7.8
Restricted investigation environment (dependent on medical institution or affiliated facility)	18	7.4

Korean cases. However, a notable difference was observed in age group distribution. Individuals in their 40s and 50s accounted for over 40% of all Korean cases, whereas those in their 20s and 30s comprised approximately 57% of all foreign cases. This difference is likely influenced by variations in the demographic structures of the two populations. In 2023, the Korean national population was primarily composed of individuals in their 50s (16.9%), 40s (15.4%), and 60s (14.9%), while in 2024, the foreign national population mainly consisted of individuals in their 20s (30.5%), 30s (28.7%), and 40s (14.5%). These findings highlight the younger age profile of the foreign national population and emphasize the need to consider demographic differences, in addition to disease characteristics, when comparing the two groups.

Approximately 85% of the foreign patients were from Asian countries, namely China, Vietnam, Thailand, and Uzbekistan. This distribution reflects the predominant nationalities among registered foreign nationals in ROK as of 2023, likely owing to geographic proximity [14]. China and Vietnam are known to have high hepatitis B prevalence rates of 5.0% and 6.2%, respectively, and their large representation among the foreign cases underscores the need for targeted hepatitis B management strategies for individuals from these regions [19]. Furthermore, although Mongolia ranks 11th in terms of foreign national population, it was the fifth most frequently reported country of origin [14]. The prevalence rate of hepatitis B in Mongolia (5.4%) is more than twice that of ROK, and the prevalence of hepatitis D—which occurs only in the presence of hepatitis B—is also high, at approximately 10% [2,19]. Given that a considerable proportion of foreign nationals originate from countries with high hepatitis B endemicity, strengthened efforts are warranted to improve awareness, screening,

treatment, and prevention of hepatitis B in this population.

The issue of viral hepatitis among foreign populations has also garnered global attention. In Europe (European Union/European Economic Area), chronic hepatitis B and C among immigrants contribute substantially to the overall disease burden, prompting targeted policy interventions [20]. In the United States, health management guidelines for refugees and immigrants recommend hepatitis B and C screening, vaccination, and the provision of culturally and linguistically appropriate services [21]. These examples highlight the importance of developing strategic measures to prevent and manage acute hepatitis B among foreigners in ROK.

Under the ROK's current foreign resident policies, health screening that include hepatitis B are mandatory for all foreigners upon visa issuance and registration [22]. Foreign nationals residing in ROK for six months or longer are required to enroll in the National Health Insurance Service, which makes them eligible for the same national health screenings as Korean citizens [23]. Those who are not enrolled can receive free screening and counseling for infectious diseases such as tuberculosis, human immunodeficiency virus (HIV), hepatitis B and C, and syphilis through certain self-funded local government programs. Individuals such as foreign workers under the Employment Permit System (E-9 visa) and marriage migrants are the primary targets of these services. In addition, the Ministry of Health and Welfare, together with various non-governmental organizations (NGOs), has developed and implemented medical support programs for foreign workers and other vulnerable groups [24,25].

Approximately 40% of the foreign cases examined in this report were either unemployed or employed as production and unskilled labors. This finding implicitly suggests

that a significant number of foreigners may lack financial resources and are at risk of not receiving continuous medical care, including follow-up testing or treatment, after diagnosis. Previous reports from free liver screening programs conducted by NGOs and academic societies targeting foreign workers have noted that many patients sought treatment only after their condition had progressed to cirrhosis or liver cancer, primarily due to financial or time constraints that prevented regular medical examinations [2].

Most foreign cases were diagnosed after visiting a medical institution for symptoms or health concerns, with jaundice being the most common characteristic symptom. However, the actual incidence of acute hepatitis B among foreign nationals may be underestimated due to underdiagnosis and underreporting, given that approximately half of adults with the condition are asymptomatic and jaundice typically appears only after the disease has progressed to a certain extent [1]. Therefore, it is essential to raise awareness about asymptomatic acute hepatitis B and to encourage active participation in available health screening and management programs among foreign nationals.

As discussed earlier, the vaccination history for hepatitis B could not be confirmed for most of the foreign patients. This may be attributed to several factors, including missing records despite prior vaccination in their home countries, differences in national immunization rates and policies, and the absence of a system requiring verification or administration of the vaccine upon entry into ROK. Currently, ROK offers the hepatitis B vaccine to both Korean and foreign children only through the perinatal infection prevention program and the NIP for registered foreigners [26]. Therefore, it is essential to raise awareness about the importance of hepatitis B vaccination and

to proactively recommend immunization for adult foreign nationals with incomplete or unverified vaccination history.

One of the major challenges encountered during the epidemiological investigations of foreign cases was the communication barrier. This is a common systemic issue that extends beyond acute hepatitis B. Fortunately, with the rapid advancement of artificial intelligence-based interpretation and translation technologies, the range of tools available to epidemiological investigation officer is expanding. If these tools are appropriately utilized in environments that ensure privacy and security, communication barriers are expected to gradually diminish.

This report's analyses were based on data from case reports and epidemiological investigations registered in the KDCA's Integrated Disease Control Information System. The possibility of data entry errors during the analysis process cannot be excluded. Furthermore, due to the retrospective nature of the epidemiological investigations, the accuracy of information related to clinical symptoms, diagnostic procedures, and risk factors may have been affected by recall bias. Although, in principle, epidemiological investigations should be conducted and registered for all reported cases, only about 80% were actually registered, thereby limiting the data available for analysis.

Furthermore, cases reported as "acute hepatitis B" according to the Integrated Disease Control Information System criteria were analyzed; however, the current diagnostic reporting criteria have limitations in clearly distinguishing between acute hepatitis B and acute exacerbation or reactivation of chronic hepatitis B. Although the diagnostic criteria for reporting infectious diseases specify that there should be "no history of diagnosis within the past six months," it is often difficult to verify previous infection history or medical records

for foreign nationals. As a result, some past infection histories may have been omitted, and cases of reactivation in chronically infected individuals may have been reported as acute cases. Additionally, the case reports and epidemiological investigation data do not include quantitative results of diagnostic indicators such as anti-HBc IgM, HBeAg, and HBV DNA, which limits the ability to differentiate or explain the course of infection. These limitations in diagnostic criteria and data should be considered when interpreting the findings of this report.

Nevertheless, this report is noteworthy for leveraging national surveillance data to ensure representativeness and for conducting analyses focused on foreign nationals—an area that remains underexplored. The results highlight the need for systematic and culturally tailored public health measures for the prevention and management of acute hepatitis B, given the growing number of foreigners residing in ROK. These measures should include promoting vaccination, encouraging participation in existing health screening and management programs, and fostering an environment that supports effective communication and continuous access to healthcare services.

Furthermore, considering that a large proportion of foreign nationals come from countries with a high prevalence of hepatitis B, future efforts should go beyond acute infection prevention and aim to build a comprehensive public healthcare system that encompasses early detection of chronic infections, health education, strengthened care coordination, and uninterrupted maternal care.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: Young Joon Park is an editorial board member of the journal but was not involved in the review process of this manuscript. Otherwise, there is no conflict of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: SKK, SHC. Data curation: SKK. Formal analysis: SKK. Investigation: SKK. Methodology: SKK, SLK, YJP. Project administration: SKK, DHK, AYL. Resources: SKK. Software: SKK. Supervision: YJP. Validation: SLK, YSK, SHC, YJP. Visualization: SKK. Writing – original draft: SKK, SLK. Writing – review & editing: SLK, DHK, JHL, MSK, YSK, AYL, SHC, YJP.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Guidelines for the management of viral hepatitis, 2025 [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20507020000&bid=0019&list_no=727184&act=view
2. Korean Association for the Study of the Liver (KASL). White paper on liver disease in Korea: 2024 update [Internet]. KASL; 2023 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://new.kasl.org/bbs/index.html?code=ency&category=&gubun=&idx=&page=1&number=5955&mode=view&order=&sort=&keyfield=&key=>
3. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Standards and methods for immunization [Internet]. KDCA; 2023 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20504000000&bid=0019&tag=&act=view&list_no=722841
4. Chun BC. Public policy and laws on infectious disease control in Korea: past, present and prospective. Infect

- Chemother 2011;43:474-84.
5. Lee DH. Current status of infectious disease surveillance system at the Korea Centers for Disease Control and Prevention. HIRA Policy Brief 2016;10:7-12.
6. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC); Korea University College of Medicine, Department of Preventive Medicine. Evaluation of sentinel surveillance data for acute hepatitis B [Internet]. KCDC; 2010 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://kdca.go.kr/board.es?mid=a20101000000&bid=0034&list_no=12440&act=view
7. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Annual report on infectious disease notifications, 2024 [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://dportal.kdca.go.kr/pot/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsSn=1010&q_bbsDocNo=20250626112241525&q_cls-fNo=1
8. World Health Organization (WHO). Hepatitis B fact sheet [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-b>
9. World Health Organization (WHO). Viral hepatitis B and C burden of disease, WHO policy adoption status in countries, 2025 [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/hq-hiv-hepatitis-and-stis-library/2025-whd-hep-information-sheet.pdf>
10. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC). Certification for achieving the regional goal of hepatitis B control in Korea [Internet]. KCDC; 2008 [cited 2025 Aug 25]. Available from: https://kdca.go.kr/board.es?mid=a20101000000&bid=0034&list_no=12142&act=view
11. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) [Internet]. KDCA; n.d. [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/archive/wsiStatsClct.do>
12. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC), National Institute of Health. Seroepidemiology of hepatitis B among preschool children in Korea [Internet]. KDCA; 2008 [cited 2025 Sep 5]. Available from: https://kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20602010000&bid=0034&list_no=12128&act=view
13. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). 2024 Nationwide vaccination coverage rates for children [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://nip.kdca.go.kr/irhp/infm/goNatnVcntStat-View.do>
14. Ministry of Justice (MOJ). Korea immigration statistics, 2025 [Internet]. MOJ; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://www.moj.go.kr/moj/2412/subview.do>
15. Korean Statistical Information Service (KOSIS). Resident registration population statistics [Internet]. KOSIS; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Flist_id%3DA8%26obj_var_id%3D%26seqNo%3D%26query%3DEC%99%B8%EA%B5%AD%EC%9D%B8%EB%93%B1%EB%A1%9D%26tblId%3DDT_1B040A8%26vw_cd%3DMT_ZTITLE%26language%3Dkor%26orgId%3D111%26conn_path%3DMT_ZTITLE%26itm_id%3D%26lang_mode%3Dko%26
16. Son I. The dynamics of non-governmental healthcare services for immigrants in South Korea: discriminatory medical insurance system and responses of non-governmental organizations. Econ Soc 2023;137:165-201.
17. Shin YN, Hasegawa S, Choi KJ. Health status analysis of undocumented migrants and proposal for improved access to health and medical services: focusing on literature review and expert interview. J Public Soc 2019;9:40-84.
18. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Notification criteria for infectious diseases: official notice [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://law.go.kr/admRulSc.do?menuId=5&subMenuId=41&tabMenuId=183&query=%EA%B0%90%EC%97%BCEB%B3%91%20%EC%A7%84%EB%8B%A8#liBgcolor0>
19. CDA Foundation. Polaris observatory: global distribution [Internet]. CDA Foundation; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://cdafound.org/polaris/global-distribution/>
20. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Epidemiological assessment of hepatitis B and C among migrants in the EU/EEA [Internet]. ECDC; 2016 [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/epidemiological-assessment-hepatitis-b-and-c-among-migrants-eueea>
21. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Viral hepatitis: refugee health domestic guidance [Internet]. CDC; 2025 [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.cdc.gov/immigrant-refugee-health/hcp/domestic-guidance/viral-hepatitis.html>
22. Ministry of Justice (MOJ). Designated medical institutions: health screening subjects and items [Internet]. MOJ; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.>

- hikorea.go.kr/board/BoardNtcDetailR.pt?BBS_SEQ_GB_CD=&BBS_SEQ=1&BBS_GB_CD=BS10&NTCCTT_SEQ=365&page=1
23. National Health Insurance Service (NHIS). National Health Insurance Act: eligibility criteria for long-term resident overseas Koreans and foreigners [Internet]. NHIS; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://www.nhis.or.kr/lm/lmxsrv/law/lawDetail.do?SEQ=41&LAWGROUP=1>
 24. Gangnam-gu Public Health Center. Health screening program for foreign workers and marriage immigrants [Internet]. Gangnam-gu Public Health Center; n.d. [cited 2025 Sep 5]. Available from: <https://health.gangnam.go.kr/web/checkup/checkup/inspection/sub05.do>
 25. Ministry of Health and Welfare (MOHW). Medical support program for foreign workers and others [Internet]. MOHW; n.d. [cited 2025 Sep 10]. Available from: https://www.mohw.go.kr/board.es?mid=a10107010000&bid=0043&act=view&list_no=1484504&tag=&cg_code=&list_depth=1
 26. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Guidelines for the national immunization program, 2025 [Internet]. KDCA; 2024 [cited 2025 Sep 10]. Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20507020000&bid=0019&list_no=726815&act=view

2024년 충청권 공·항만 오·하수 감시사업 병원체 감시 현황

윤영실 , 김소연 , 이동근 , 김보람 , 전준호*

질병관리청 충청권질병대응센터 진단분석과

초 록

목적: 충청권질병대응센터에서 수행하고 있는 공·항만 오·하수 기반 감염병 감시 사업을 통해 2024년 병원체별 검출 결과와 충청권 내 해당 감염병 환자 발생간의 상관관계를 분석하고자 하였다.

방법: 충청권 내 검역소와 협력하여 군산항국제여객터미널, 평택·당진항 국제여객터미널, 청주국제공항의 검역구역에서 2024년 3월부터 12월까지 오·하수 검체 총 192건을 채취하였다. TaqMan Array Card 기반 다중 병원체 검출법을 활용하여 충청권 공·항만 오·하수에서 코로나19 바이러스(SARS-CoV-2), 인플루엔자바이러스, 지카바이러스 등 총 8종의 검역감염병 병원체의 존재 여부 및 검출률을 분석하였다. 또한, SARS-CoV-2 양성 검체 중 일부에 대해 전장유전체 분석을 수행하여 오미크론 세부계통을 확인하였다.

결과: 총 192개 검체 중 101개에서 SARS-CoV-2가 검출되어 검출률은 52.6%였고, 인플루엔자바이러스는 38개 검체에서 검출되어 19.8%의 검출률을 나타냈다. 한편 엡폭스바이러스를 포함한 기타 6종 병원체들은 검출되지 않았다. SARS-CoV-2는 공항에서 72.6%의 검출률을 보여 항만의 37.0%보다 높았으며, 인플루엔자 역시 공항에서의 검출률이 22.6%로 항만의 17.6%보다 높았다. 충청권 공·항만 오·하수에서의 SARS-CoV-2와 인플루엔자바이러스의 월별 검출률을 충청권 내 해당 감염병 환자발생수와 비교한 결과, SARS-CoV-2 검출률은 환자 발생과 동일하게 8월에 증가하고 9월에 감소하였다. 반면 인플루엔자의 경우 환자수가 증가한 12월보다 약 1개월 앞선 11월에 공·항만 오·하수에서의 검출률이 상승하였다. SARS-CoV-2 양성 검체 일부에 대해 전장유전체 분석을 수행한 결과, KP.3, JN.1, XEC 등의 변이가 확인되었으며, 이는 질병관리청에서 분석한 국내 코로나바이러스감염증-19 환자에서 우세하게 나타난 변이들과 일치하였다.

결론: 공·항만 오·하수 기반 감염병 감시는 해외유입 감염병의 국내 확산방지를 위해 기존 유증상자 중심의 검역 감시체계를 보완할 수 있는 효과적인 수단이 될 것으로 기대된다.

주요 검색어: 공항; 하수; 코로나19 바이러스; 인플루엔자바이러스

서 론

국제 항공 및 해상 교통의 발달로 인한 이동의 증가로 전

세계적으로 국가 간 감염병의 확산 위험이 확대되고 있다. 특히 코로나바이러스감염증-19(코로나19) 팬데믹을 통하여 국가 간 감염병의 확산과 그로 인한 심각한 사회·경제적 피해

Received September 9, 2025 Revised October 2, 2025 Accepted October 14, 2025

*Corresponding author: 전준호, Tel: +82-42-257-9435, E-mail: jhjeon78@korea.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약**① 이전에 알려진 내용은?**

코로나바이러스감염증-19 대유행을 계기로 해외 여러 국가에서뿐만 아니라 질병관리청에서도 전국 17개 시·도 대상으로 임상감시의 보조 수단으로 하수 기반 감시를 시행하고 있다.

② 새로이 알게 된 내용은?

질병관리청은 감염병 유증상자 중심의 검역 감시체계를 보완하기 위하여 공·항만 오·하수 기반 감염병 감시체계를 운영하고 있다.

③ 시사점은?

공·항만 오·하수 기반 감염병 감시는 환경 시료 분석을 통해 이루어져, 개인 정보 침해의 우려 없이 집단 감염수준을 평가할 수 있는 감시방법이다.

를 경험한 이후, 해외 감염병이 공항, 항만과 같은 국경지역을 통해 국내로 유입되어 지역사회로 확산되는 것을 방지하기 위한 병원체 감시체계의 구축이 더욱 중요해지고 있다[1-4]. 공항과 항만은 수많은 해외 입국자가 오가는 우리나라의 관문으로, 전 세계에서 유입될 수 있는 감염병 병원체에 맞서 국가 방역 시스템이 선제적으로 대응해야 할 핵심 전략지역 중 하나이다. 코로나19 팬데믹 이후 미국 등 여러 국가에서 공·항만에서의 오·하수를 이용한 감염병 병원체 감시체계가 구축·운영되고 있다. 오·하수 감시는 무엇보다도 증상을 보이지 않는 감염자도 바이러스 및 병원체를 배출하므로 임상증상을 기반으로 하는 검역보다 조기감지가 가능하여 신속한 대응이 가능하다[1]. 또한 해외에서 유행하는 감염병은 공·항만을 통해 국내 유입될 가능성이 크기 때문에, 해외 유입 감염병에 대한 조기 경보의 역할이 가능하다[3]. 하수감시는 감염병의 계절적 유행 및 특정 지역에서의 감염병 발생 동향과 특징에 대한 분석이 가능하여 환자발생 감염병 감시체계를 보완하고, 방역 정책을 강화하여 선제적 대응 전략을 수립하는데 기여한다[5].

기존의 감염병 감시는 증상 발현 후 진단을 기반으로 했으나, 무증상 감염자나 잠복기가 긴 감염병은 신속한 감지가 어려운 한계가 있었다. 따라서 감염병 발생 동향을 예측하고 대응할 수 있는 오·하수 기반 감염병 감시체계(wastewater-based infectious disease surveillance systems)를 미국, 유럽 등 여러 국가에서 운영함으로써, 감염병의 발생과 변이를 조기에 감지하여 감염병 확산을 방지하고 있다[5-7]. 우리나라 역시 질병관리청에서 2021년부터 ‘국가 하수 기반 감염병 감시(Korea Wastewater Surveillance)체계’를 구축해 운영하고 있으며, 코로나19 바이러스(SARS-CoV-2), 인플루엔자바이러스 등 지역사회 유행 감염병의 감시를 수행하고 있다[8]. 또한 공항 및 항만에서 감염병 의심환자 중심의 입국자 검역에 대한 보완적 감시를 위해 공·항만 하수 기반 감염병 감사업업을 5개 권역질병대응센터와 검역소에서 수행하고 있다[9]. 충청권질병대응센터에서는 군산검역소, 평택검역소, 청주공항지소와 협력하여 충청권 공·항만 오·하수 기반 감염병 감사업업을 진행하고 있다. 본 분석 보고서에서는 충청권질병대응센터에서 2024년 3월부터 2024년 12월까지 수행한 8종 검역감염병 병원체(SARS-CoV-2, 인플루엔자바이러스, 엡폭스바이러스, 뎅기바이러스, 지카바이러스, 치쿤구니아바이러스, 황열바이러스, 콜레라균) 감시 결과와 SARS-CoV-2 변이 감시 결과를 분석하여 국가 방역정책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

방 법**1. 검체 수집**

충청권질병대응센터 관할 검역소인 군산검역소(군산항국제여객터미널[중국 산둥성 석도-한국 군산항 간 여객선 운항] 하수 및 선박 오수), 평택검역소(평택·당진항국제여객터미널[중국 산둥성 위해, 일조, 연태-한국 평택항 간 운항] 하수)와 청주공항지소(청주공항 하수 및 항공기 오수)를 대상으로 검

체를 수집하였다. 2024년 3월부터 12월까지 주 1회 검체를 채취(군산항 선박 격주 채취)하였으며, 총 192개 검체(공·항만 하수 127개 검체, 항공기/선박 오수 65개 검체)를 수집하였다. 하수의 경우 군산항, 평택항, 청주공항 하수처리장에서 채수봉을 이용하여 1 L의 하수를 매주 채취하고 무균채수병에 하수 검체 분주 후 충청권질병대응센터로 이송하였다. 오수의 경우 중국 석도(중북부) 지역을 출발하여 군산항으로 들어오는 선박(격주 채취)과 콜레라 검역관리지역인 필리핀 클락 지역에서 출발하는 항공기를 대상으로 오수 배출구에 수동 펌프 등을 이용하여 오수를 매주 채취 후 1 L를 무균채수병에 분주하여 충청권질병대응센터로 이송하였다(표 1).

2. 실험방법

오·하수 검체 40 ml에 Dynabeads Intact Virus Enrichment (Invitrogen™; Thermo Fisher Scientific) 100 µl를 넣고 15분 동안 교반한 후 release buffer 400 µl를 넣어 검체를 농축하였다[10]. 농축이 완료된 검체는 Patho Gene-spin DNA/RNA Extraction Kit (iNtRON Biotechnology)를 이용하여 제조사의 지침에 따라 핵산을 추출하였다. 인플루엔자바이러스, SARS-CoV-2, 엡스바이러스, 지카바이러스, 뎅기바이러스, 치쿤구니아바이러스, 황열바이러스, 콜레라균 등 8종의 병원체에 대한 유전자 검출검사를 수행하기 위하여 Thermo Fisher Scientific Custom PreAmp Primer (Thermo Fisher Scientific)와 TaqMan Array Card (TAC)를 주문 제작하였다. 오·하수 검체에서 추출한 핵산은 PreAmp Primer를 이용하여 14

cycle을 pre-amplification하였다. 증폭이 완료된 시료 10 µl에 TaqMan™ Fast Advanced Master Mix, No UNG (Thermo Fisher Scientific) 50 µl와 Nuclease-Free Water 40 µl를 넣은 후 최종 100 µl를 TAC 카드에 분주하였다. 95℃ 10분, 95℃ 3초, 60℃ 30초를 1 cycle로 40 cycle을 증폭하였으며, 결과 분석은 제조사의 지침에 따라 수행하였다. 추가적으로 8-12월 공·항만 오·하수 검체 중 SARS-CoV-2가 검출된 검체는 질병관리청 신종병원체분석과에서 차세대염기서열분석을 진행하였다. 차세대염기서열분석 수행 후 생산된 데이터는 CLC Genomics Workbench (Qiagen Digital Insights)를 이용하여 원시데이터에 대한 품질평가와 서열정제를 진행 후 확보된 서열은 Nextclade를 이용하여 품질 평가를 다시 진행 후, Panoglin 분석을 통해 세부계통을 확인하였다[10]. 또한, 공·항만 오·하수 검체에서 인플루엔자바이러스와 SARS-CoV-2 월별 검출률과 환자발생과의 상관관계 분석을 위해 방역통합정보시스템 내 대전, 세종, 충북, 충남 지역의 2024년 코로나19와 인플루엔자 환자발생수 자료를 이용하였다.

결 과

1. 충청권 공·항만 오·하수 검체 유전자 검출검사 결과

2024년 3월부터 12월까지 충청권 검역소에서 수집한 공·항만 오·하수 192개 검체에서 핵산 추출 후 TAC를 이용한 유전자 검출검사를 수행하여 8종 감시대상 감염병 병원체가 오·하수 검체에 존재하는지를 분석하였다. 8종의 병원

표 1. 2024년 충청권 공·항만 오·하수 감시 지점 및 대상

감시 지점	검체종류	채취빈도	채취일자	검체수 (192개)	항로
군산항 국제여객터미널 하수처리장	하수	매주	2024년 3-12월	43	중국 석도↔군산
군산항 선박	오수	격주	2024년 3-12월	22	중국 석도↔군산
평택항 국제여객터미널 하수처리장	하수	매주	2024년 3-12월	42	중국 위해, 일조, 연태↔평택
청주공항 하수처리장	하수	매주	2024년 3-12월	42	일본, 베트남, 중국, 대만, 필리핀, 태국 등
청주공항 항공기	오수	매주	2024년 3-12월	43	필리핀 클락↔청주

체 중 콜레라균, 엡콕스바이러스, 모기매개 감염병 원인병원체인 지카바이러스, 뎅기바이러스, 황열바이러스는 전체 192개 검체 모두에서 검출되지 않았다. 반면에 SARS-CoV-2는 192개의 검체 중 101개 검체에서 검출되어 52.6%의 검출률을, 인플루엔자바이러스는 38개 검체에서 검출되어 19.8%의 검출률을 보였다(표 2). 이와 같은 결과를 공항과 항만으로 나누어 분석한 결과, 청주 공항에서는 SARS-CoV-2가 72.6% (61개 검출/84개 검체), 인플루엔자바이러스가 22.6% (19개 검출/84개 검체) 검출되었다. 반면 충청권 항만(평택, 군산)에서는 SARS-CoV-2가 37.0% (40개 검출/108개 검체), 인플루엔자바이러스가 17.6% (19개 검출/108개 검체) 검출되어 공항에서의 코로나19 및 인플루엔자바이러스 검출률이 항만보다 높음을 확인할 수 있었다. 또한 하수와 오수 검체에서의 병원체 검출률을 서로 비교한 결과, 하수 검체에서는 SARS-CoV-2가 52.3% (67개 검출/128개 검체), 인플루엔자바이러스가 20.3% (26개 검출/128개 검체) 검출되었으며, 오수 검체에서는 SARS-CoV-2가 53.1% (34개 검출/64개 검체), 인플루엔자바이러스가 18.8% (12개 검출/64개 검체) 검출되어 하수와 오수간에 큰 차이를 보이지 않았다(표 2).

다음으로는 공·항만 오·하수 검체에서의 인플루엔자 월별 검출률을 충청지역 환자발생수와 비교하였다. 2024년 오·하수 검체에서의 인플루엔자 검출률은 12월에 41.2% (7개 검출/17개 검체)로 가장 높았고, 3월 33.3% (6개 검출/18

개 검체), 4월 21.7% (5개 검출/23개 검체), 7월 13.6% (3개 검출/22개 검체), 8월 29.4% (5개 검체/17개 검체), 9월 14.3% (3개 검출/21개 검체), 11월 36.8% (7개 검출/19개 검체)가 검출되었다(그림 1A). 충청지역 인플루엔자 환자발생은 공·항만 오·하수 검체에서의 인플루엔자 검출률과 전반적으로 유사하였으나, 환자발생이 겨울철인 12월부터 증가하는 것에 비해, 공·항만 오·하수에서의 인플루엔자 검출률은 11월에 증가하기 시작하여 12월에 정점을 기록하였다. 이러한 결과를 통하여 공·항만 오·하수에서의 인플루엔자 검출 증가 시기가 환자 발생 증가 시기보다 1개월 이상 선행하는 것을 확인할 수 있었다(그림 1A). 그 다음으로 공·항만 오·하수 검체에서의 SARS-CoV-2 월별 검출률을 충청지역 환자발생수와 비교하였다. 2024년 3월부터 12월까지 SARS-CoV-2 월별 검출률은 2024년 3월 100.0% (18개 검출/18개 검체)로 가장 높았으며, 4월, 5월, 6월은 각각 82.6%, 55.6%, 47.4%의 검출률을 보이며 점차 감소하였다. 이와 마찬가지로 충청지역 SARS-CoV-2 환자발생수도 유사한 경향을 보였다. 또한, 오·하수 검체에서의 SARS-CoV-2 검출률은 7월까지 감소하여 45.5%의 검출률을 보인 후 8월에 충청지역 표본감시 환자발생수의 급격한 증가 경향과 유사하게 70.6%로 급상승 후 다시 환자발생수의 감소 경향과 같이 9월 23.8%의 검출률을 보이며 감소하였다(그림 1B).

표 2. 충청권 공·항만 오·하수 검체에서의 병원체 검출률(2024년 3-12월)

	검체수	SARS-CoV-2 검출률	인플루엔자바이러스(A/B) 검출률	그 외 병원체 ^{a)} 검출률
전체	192	101 (52.6)	38 (19.8)	0 (0.0)
검체 채취 장소				
항만	108	40 (37.0)	19 (17.6)	0 (0.0)
공항	84	61 (72.6)	19 (22.6)	0 (0.0)
검체 종류				
하수	128	67 (52.3)	26 (20.3)	0 (0.0)
오수	64	34 (53.1)	12 (18.8)	0 (0.0)

단위: 개(%). SARS-CoV-2=코로나19 바이러스. ^{a)}엡콕스바이러스, 지카바이러스, 뎅기바이러스, 치쿤구니아바이러스, 황열바이러스, 콜레라균.

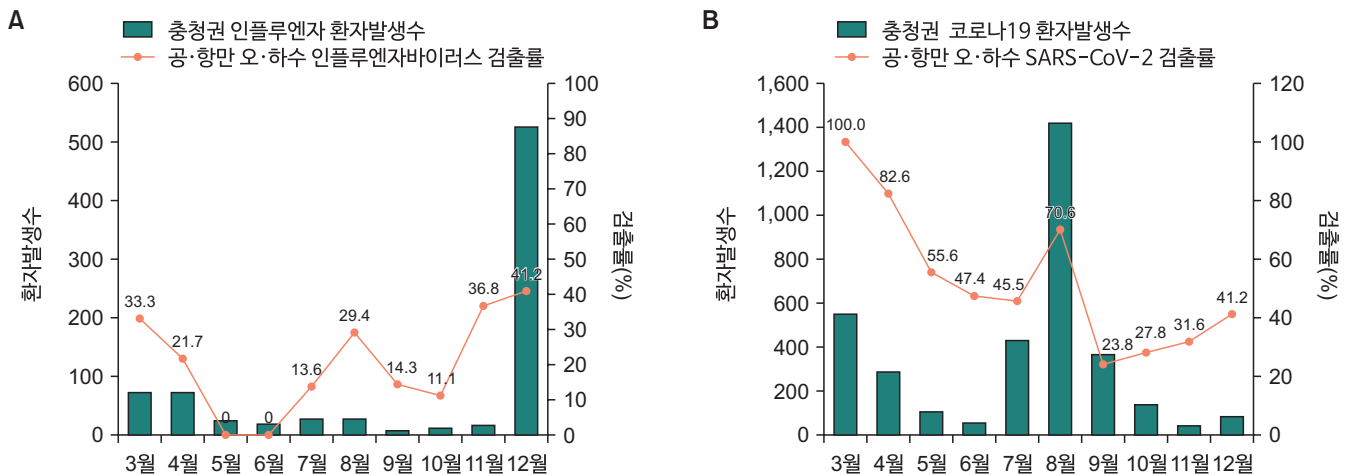


그림 1. 충청권 공·항만 오·하수 검체에서의 인플루엔자바이러스 및 SARS-CoV-2 월별 검출현황(2024년 3-12월)
(A) 공·항만 오·하수에서의 인플루엔자바이러스 월별 검출현황(주황색 선) 및 충청지역 인플루엔자바이러스 환자발생수(파란색 막대). (B) 공·항만 오·하수에서의 SARS-CoV-2 월별 검출현황(주황색 선) 및 충청지역 SARS-CoV-2 환자발생수(파란색 막대). SARS-CoV-2=코로나19 바이러스; 코로나19=코로나바이러스감염증-19.

2. 충청권 공·항만 오·하수 검체 SARS-CoV-2 변이 바이러스 분석 결과

2024년 8월부터 12월까지 공·항만 오·하수 검체 중 SARS-CoV-2가 검출된 검체를 대상으로 변이 분석을 추가적으로 수행하였다. 총 92개의 검체 중 35개 검체에서 SARS-CoV-2가 검출되었으며, 그 중 전장유전체 분석이 가능한 11개 검체에서 변이분석을 수행한 결과, 11개 검체 모두 오미크론 변이로 확인되었다. 또한, 오미크론 세부변이 분석결과 8월 KP.3 2건; 9월 KP.3 1건, JN.1 1건; 10월 KP.3 1건, JN.1 1건; 11월 JN.1 1건, XEC 1건; 그리고 12월 KP.3 1건, JN.1 1건, XEC 1건으로 확인되었다(표 3). 또한 이와 같은 결과를 2024년 8월부터 12월까지 국내에서 지역사회 임상검체에서 확인된 SARS-CoV-2 오미크론 세부변이와 비교하였을 때 8월부터 12월까지 국내에서 우세종으로 확인된 KP.3 변이가 공·항만 오·하수 검체에서도 주로 분석된 것을 확인할 수 있었다[11].

논 의

우리나라의 관문인 공항 및 항만에서의 오·하수 감시

는 해외유입 감염병을 조기에 감지하고 선제적으로 대응할 수 있는 효과적인 감시 전략이다[2]. 2024년 충청권 공·항만 오·하수 감시 결과에 대한 분석 및 SARS-CoV-2 변이 분석을 통하여 공·항만에서의 오·하수 감시가 검역과정에서의 환자 기반 감시를 보완 가능하며, 해외 감염병의 국내유입을 조기 감지할 수 있는 효과적인 수단으로 활용될 수 있음을 확인하였다. 실제로 공·항만 오·하수 검체에서 8종의 병원체를 분석한 결과, SARS-CoV-2와 인플루엔자바이러스가 각각 52.6%와 19.8% 검출되었으며, 이는 오·하수를 기반으로 하는 여러 연구에서도 다수의 검출 사례가 보고된 바 있다 [12-14].

검체 수집 대상의 선정은 충청권 공·항만(청주공항, 군산항, 평택항) 하수를 기본 검체로 하였다. 이는 공·항만이 해외에서 충청권으로 바로 입국하는 모든 사람들이 반드시 경유해야 하는 장소이기 때문에 대표성(전체 검체의 65%)을 가지고 있기 때문이다. 항공기의 경우에는 검역법에 따라 고위험 노선(위험지역 출발)을 출발하는 항공기로 선정하였으며, 콜레라 중점 감시를 위해 콜레라 검역관리지역으로 지정된 필리핀발 항공기를 검체 채취 대상으로 선정하였다. 선박의 경우에는 우리나라와 교류가 많은 중국에서 유입될 수 있는 감염

표 3. 공·항만 오·하수에서 검출된 SARS-CoV-2 오미크론 세부계통 분석 및 국내 유행 변이 바이러스와의 비교 분석(2024년 8-12월)

검체수집일 (2024)	검체수	SARS-CoV-2 검출건수	SARS-CoV-2 변이 분석건수	변이 분석결과	국내 유행 SARS-CoV-2 오미크론 변이 세부계통
8월	17	12/17 (70.6)	2/12 (16.7)	KP.3	KP.3 (60.9), JN.1 (11.5), KP.2 (8.5), XEL (7.4), LB.1 (4.9), JN.1.16 (4.4), XEC (0.1), etc. (2.3)
9월	21	5/21 (23.8)	2/5 (40.0)	KP.3 JN.1	KP.3 (61.7), XEL (16.7), JN.1 (7.4), KP.2 (6.5), LB.1 (2.7), JN.1.16 (2.5), XEC (0.5), etc. (2.0)
10월	18	5/18 (27.8)	2/5 (40.0)	KP.3 JN.1	KP.3 (70.2), XEL (14.4), JN.1 (7.1), KP.2 (2.5), LB.1 (2.5), JN.1.16 (0.3), XEC (0.9), etc. (2.2)
11월	19	6/19 (31.6)	2/6 (40.0)	JN.1 XEC	KP.3 (55.5), XEL (18.7), JN.1 (7.7), KP.2 (1.9), LB.1 (1.3), JN.1.16 (12.9), XEC (9.7), etc. (3.3)
12월	17	7/17 (41.2)	3/7 (42.9)	KP.3 JN.1 XEC	KP.3 (48.2), XEL (17.3), JN.1 (10.8), KP.2 (0.7), LB.1 (2.2), JN.1.16 (2.9), XEC (16.5), etc. (1.4)

단위: 개(%) 또는 %. SARS-CoV-2=코로나19 바이러스. Reused from Korea Disease Control and Prevention Agency (<https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20107030000>) [11].

병 감시를 위해 중국 산둥성 석도-군산 간 1개 노선만을 운항하는 여객선을 선정하여 오수(전체 검체의 35%)를 채취하였다. 따라서 전체 선박과 항공기에서 오수 채취를 하지 않았기 때문에 오수 감시 결과는 전체 검사에 대한 대표성을 가지지 못하는 제한 및 한계점을 가지고 있다.

많은 오·하수 감시연구에서 인플루엔자바이러스 첫 환자 발생 보고보다 앞선 시점에 하수에서 검출된 사례들에 대한 연구가 있었고[15], 공·항만 오·하수 병원체 감시 분석 결과 충청지역 인플루엔자 표본감시 환자 발생 증가 시기보다 약 1개월 앞선 11월부터 인플루엔자바이러스 검출률이 증가하는 경향을 보였다. 이와 같이 11월과 12월 공·항만 오·하수 검체에서의 인플루엔자바이러스의 검출이 증가하는 것은, 일본과 중국에서의 인플루엔자 환자 발생 증가와 연관이 있을 것으로 추정된다. 실제로 청주공항 국제선 입국자 수를 확인해 본 결과 일본(46.7%), 베트남(22.6%), 중국(7.0%) 순으로 많았으며, 군산항의 경우 중국(81.0%), 일본(5.0%), 평택항의 경우 중국(78.5%), 일본(4.0%) 순으로 입국자수가 많았다[16]. 또한, 일본과 중국은 11월에 각각 전체 호흡기 감염병 감시대상자의 79.9%와 5.3%가 인플루엔자 환자였으며, 12월에 일본은 91.4%, 그리고 중국은 21.4%의 환자 발생률

을 나타내어, 11월에 비해 높은 환자 발생 증가율을 나타냈다[17]. 또한 인플루엔자의 경우 저위도 지역(동남아시아)과 중위도 지역(동북아시아)에 따라 유행시기가 다른 것으로 알려져 있으며, 중국의 경우에도 중국 남부와 중국 중북부 지역에 따라 인플루엔자의 유행시기가 다른 것으로 알려져 있다[18]. 하지만 본 연구에서는 검체 수집대상 선박과 항공기가 중국 석도 출발 선박(군산항)과 콜레라 검역관리지역으로 지정된 필리핀 출발 항공기(청주공항)가 각각 1대이기 때문에 선박, 항공기의 출발 지역에 따른 검출율의 차이에 대한 분석이 제한되었다. 향후 분석의 신뢰성 확보를 위하여 전체 검사에 대한 대표성 확보와 지역에 따른 검출률 차이 분석 등을 위하여 다양한 지역에서 출발한 선박과 항공기를 대상으로 감시사업 계획 수립 및 분석이 필요할 것으로 사료된다.

충청권 공·항만 오·하수에서의 SARS-CoV-2 검출률은 환자 발생 증가와 동일하게 8월에 증가 후 9월에 다시 감소하였으며, 인플루엔자와 달리 환자 발생에 선행하지 않음을 확인할 수 있었다. SARS-CoV-2 오·하수 감시에 대한 많은 연구결과에서 오·하수에서의 SARS-CoV-2 검출률이 환자 발생 증가에 선행한다는 보고가 있지만, 선행하지 않는다는 연구 결과도 있다. 실제로 코로나19 1차 팬데믹에서는 오·하수에

서의 SARS-CoV-2 검출률이 환자 발생에 선행하였지만, 이후 시기에는 선행 지표로 작동하지 않았으며, 심지어 2020년 12월에서 2021년 1월 기간 동안의 애리조나 지역에서의 오·하수 분석 결과 오·하수에서의 SARS-CoV-2 검출결과가 선행하지 않고 오히려 임상지표보다 후행하기도 하였다[19,20].

충청권 공·항만 오·하수 검체에서의 SARS-CoV-2 검출률 증가는 중국과 일본의 코로나19 유행 상황과 연관성이 있는 것으로 추정된다. 실제로 세계보건기구(World Health Organization)의 국가별 코로나19 발생 현황 자료에 따르면 [21], 2024년 중국에서의 연간 코로나19 환자 발생은 3월에 가장 높았으며 6월까지 감소 후 7월과 8월에 다시 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 충청권 오·하수 검체에서의 SARS-CoV-2 검출 추이와도 유사한 양상을 나타냈다.

또한, 충청권 공·항만 오·하수 검체 중 SARS-CoV-2 양성 검체를 대상으로 추가로 수행한 전장유전체 분석 결과, 8월에는 KP.3, 9월과 10월에는 JN.1, KP.3, 그리고 11월과 12월에는 KP3, JN.1, XEC 변이가 확인되었으며, 이러한 변이는 주로 중국과 일본으로부터 유입된 것으로 추정된다. 실제로 중국의 경우, 2024년 10월 초까지 코로나19 환자의 90% 이상이 JN.1 변이를 보유한 것으로 나타났으며, 이에 반해 일본에서는 환자의 90% 이상이 KP.3 변이를 가진 것으로 보고되었다[22]. 그러나, 공·항만 오·하수 검체에서 변이 분석에 사용된 검체 수가 적고, 일부 검체만이 전장유전체 분석이 가능하였기 때문에 이러한 변이의 국내 유입 관계를 보다 정확하게 분석하기 위해서는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 충청권역 공·항만 오·하수 기반 감염병 병원체 감시 결과와 충청지역 감염병 환자 발생 양상을 비교·분석하여, 두 지표간의 상관성을 평가하고자 하였다. 비록 8종의 감시 대상 감염병 중 엡폭스, 뎅기열, 지카바이러스, 치쿤구니아열, 콜레라, 황열은 검출되지 않았으나, 인플루엔자바이러스와 SARS-CoV-2는 오·하수에서의 검출률과 충청지

역 환자 발생 현황이 유사한 경향을 보여, 오·하수 기반 감시체계의 효용성을 확인할 수 있었다. 또한, 2024년 8월부터 12월까지 수행한 충청권 공·항만 오·하수 검체의 SARS-CoV-2 유전체 변이분석을 통해, 국내에서 유행 중인 주요 SARS-CoV-2 변이 바이러스가 공·항만 오·하수에서도 주로 검출되는 우세종으로 확인되었다.

공·항만에서의 오·하수 기반 감염병 감시는 유증상자 중심의 기존 검역체계를 보완할 수 있는 효과적인 수단으로, 미국을 비롯한 여러 국가에서 이미 활용되고 있으며, 우리나라도 질병관리청에서 2023년 7월부터 시범사업을 거쳐 감시체계를 운영하고 있다. 향후 공·항만 오·하수 기반 감염병 감시체계가 지속적으로 발전하여, 해외 신·변종 감염병의 국내 유입 및 지역사회 확산 방지를 위한 국가 감염병 감시체계의 핵심적인 역할을 수행하기를 기대한다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This study was supported by intramural funds (grant no. 6233-304-210-11) from the Korea Disease Control and Prevention Agency.

Acknowledgments: We would like to thank 3 National Quarantine Station (Gunsan National Quarantine Station, Pyeongtaek National Quarantine Station, and Pyeongtaek National Quarantine Station Cheongju Airport Branch). Additionally, we would like to express our gratitude to the Division of Emerging Infectious Diseases, Department of Laboratory Diagnosis and analysis, Korea Disease Control and Prevention Agency for conducting whole genome sequencing on SARS-CoV-2 positive wastewater samples.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: JHJ. Data curation: YSY, SYK, DGL. Formal analysis: YSY, BRK. Funding acquisition: JHJ. Investigation: YSY, SYK. Methodology: YSY, JHJ. Project administration: JHJ. Supervision: JHJ. Validation: YSY, BRK. Writing – original draft: YSY. Writing – review & editing: JHJ, DGL.

References

1. Diamond MB, Keshaviah A, Bento AI, et al. Wastewater surveillance of pathogens can inform public health responses. *Nat Med* 2022;28:1992–5.
2. Perez-Zabaleta M, Berg C, Latorre-Margalef N, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 from aircraft to citywide monitoring. *Nat Commun* 2025;16:5125.
3. Tay M, Lee B, Ismail MH, et al. Usefulness of aircraft and airport wastewater for monitoring multiple pathogens including SARS-CoV-2 variants. *J Travel Med* 2024;31:taae074.
4. Li J, Hosegood I, Powell D, et al. A global aircraft-based wastewater genomic surveillance network for early warning of future pandemics. *Lancet Glob Health* 2023;11:e791–5.
5. Lee JH, Park HJ, Yi H, Chung YS. Application and significance of wastewater-based pathogen monitoring in infectious disease surveillance: insights from international case studies. *Public Health Wkly Rep* 2024;17:2134–46.
6. Yousif M, Rachida S, Taukobong S, et al. SARS-CoV-2 genomic surveillance in wastewater as a model for monitoring evolution of endemic viruses. *Nat Commun* 2023;14:6325.
7. Tamáš M, Potocarova A, Konecna B, Klucar L, Mackulak T. Wastewater sequencing-an innovative method for variant monitoring of SARS-CoV-2 in populations. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:9749.
8. Jang J, Park SY, Kim SS, et al. Establishment and operation of national wastewater-based surveillance system on infectious diseases. *Public Health Wkly Rep* 2023;16:424–38.
9. Lee DI, Kim SH, Kim OS. Airport and port wastewater-based infectious disease surveillance. *Public Health Wkly Rep* 2025;18:33–43.
10. Lee C, Park J, No JS, et al. Wastewater-based surveillance for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 variants in Gwangju, Republic of Korea. *Front Microbiol* 2025;16:1676742.
11. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). COVID-19 dashboard [Internet]. KDCA; 2021 [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20107030000>
12. Kim YT, Lee K, Lee H, et al. Development of a wastewater based infectious disease surveillance research system in South Korea. *Sci Rep* 2024;14:24544.
13. Tiwari A, Radu E, Kreuzinger N, Ahmed W, Pitkänen T. Key considerations for pathogen surveillance in wastewater. *Sci Total Environ* 2024;945:173862.
14. Kim LH, Mikolaityte V, Kim S. Establishment of wastewater-based SARS-CoV-2 monitoring system over two years: case studies in South Korea. *J Environ Chem Eng* 2023;11:110289.
15. Lehto KM, Lämsivaara A, Hyder R, et al. Wastewater-based surveillance is an efficient monitoring tool for tracking influenza A in the community. *Water Res* 2024;257:121650.
16. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Infectious disease control integrated system [Internet]. KDCA; n.d. [cited 2025 Aug 4]. Available from: <http://eid.kdca.go.kr/>
17. World Health Organization (WHO). Influenza laboratory surveillance information [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Jun 9]. Available from: <https://worldhealthorg.shinyapps.io/flunetchart/>
18. Yu H, Alonso WJ, Feng L, et al. Characterization of regional influenza seasonality patterns in China and implications for vaccination strategies: spatio-temporal modeling of surveillance data. *PLoS Med* 2013;10:e1001552.
19. Bowes DA, Driver EM, Kraberger S, et al. Leveraging an established neighbourhood-level, open access wastewater monitoring network to address public health priorities: a population-based study. *Lancet Microbe* 2023;4:e29–37.
20. Jones MJ, Ibrahim R, Clark S, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 and influenza in a dynamic university community: understanding how wastewater measurements correspond to reported cases. *Sci Total Environ* 2025;1000:180377.
21. World Health Organization (WHO). WHO COVID-19 dashboard [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Jul 24]. Available from: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?m49=156>
22. Our World in Data. SARS-CoV-2 sequences by variant [Internet]. Our World in Data; 2025 [cited 2025 Jul 24]. Available from: <https://ourworldindata.org/grapher/covid-variants-bar?time=2024-08-12>

Surveillance Report

Pathogen Surveillance in Wastewater from Airport and Port in the Chungcheong Region, Republic of Korea, in 2024

Youngsil Yoon , Soyeon Kim , Dong Geun Lee , Bo-Ram Kim , Jun Ho Jeon* 

Division of Laboratory Diagnosis and Analysis, Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention, Korea Disease Control and Prevention Agency, Daejeon, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to analyze the correlation between pathogen detection through wastewater-based infectious disease surveillance at airports and ports in the Chungcheong region and the incidence of corresponding infectious diseases in the local population.

Methods: Between March and December 2024, 192 wastewater samples were collected from Gunsan Port, Pyeongtaek-Dangjin Port, and Cheongju International Airport. Eight infectious disease pathogens were analyzed using TaqMan Array Card-based multiplex detection. Next-generation sequencing was also conducted on selected samples positive for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to identify the Omicron sublineages.

Results: Of the 192 samples, SARS-CoV-2 was detected in 101 (52.6%) and influenza virus in 38 (19.8%). The detection rates were higher at airports (SARS-CoV-2: 72.6%, influenza: 22.6%) than at ports (SARS-CoV-2: 37.0%, influenza: 17.6%). When comparing the monthly detection rates of SARS-CoV-2 and influenza with regional case counts, the SARS-CoV-2 detection rates increased in August and declined in September, showing a similar pattern to the trend in reported cases. In contrast, the influenza virus detection rates in wastewater increased in November, approximately one month earlier than the increase in reported influenza cases observed in December. Sequencing analysis of the SARS-CoV-2 samples identified variants KP.3, JN.1, and XEC, consistent with those reported in domestic patients.

Conclusions: Wastewater-based surveillance at airports and ports can serve as an effective supplementary tool to symptom-based quarantine systems, enabling the earlier detection and prevention of the domestic spread of imported infectious diseases.

Key words: Airports; Wastewater; SARS-CoV-2; Influenza viruses

*Corresponding author: Jun Ho Jeon, Tel: +82-42-257-9435, E-mail: jhjeon78@korea.kr

Introduction

The increase in global mobility resulting from advances in international air and maritime transport has heightened the risk of cross-border transmission of infectious diseases.

Following the global spread of coronavirus disease 2019 (COVID-19) and the associated severe socioeconomic consequences, the establishment of pathogen surveillance systems at points of entry—such as airports and seaports—has become critically important to prevent the introduction and

Key messages

① What is known previously?

In response to the coronavirus disease 2019 pandemic, many countries have adopted wastewater-based surveillance as a complementary tool to traditional clinical surveillance. The Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) launched the Korea Wastewater Surveillance Program, which encompasses all 17 metropolitan cities and provinces.

② What new information is presented?

The KDCA has extended wastewater-based surveillance to international airports and ports to enhance existing quarantine systems that primarily focus on symptomatic individuals.

③ What are implications?

Wastewater surveillance at airports and ports provides a method for monitoring infectious disease trends using environmental samples without infringing on individual privacy.

community transmission of imported infectious diseases [1-4]. As gateways for numerous international arrivals, airports and seaports are key strategic locations where national quarantine systems must proactively respond to potential infectious disease threats originating from abroad. Since the COVID-19 pandemic, many countries, including the United States, have implemented wastewater- and sewage-based pathogen surveillance systems at these entry points. Since asymptomatic individuals can shed viruses and other pathogens, wastewater and sewage surveillance enables earlier detection compared to symptom-based clinical screening, thereby facilitating rapid public health responses [1]. Moreover, given that infectious diseases circulating globally are often introduced through airports and seaports, such surveillance systems can serve as early

warning mechanisms for imported infections [3]. In addition, wastewater surveillance supports the analysis of seasonal trends and regional characteristics of infectious disease occurrence, complementing patient-based surveillance systems and contributing to the formulation of proactive public health policies [5].

Conventional infectious disease surveillance relies on the diagnosis of cases after symptom onset, which limits its ability to promptly detect asymptomatic infections or diseases with long incubation periods. Consequently, many countries, including the United States and several European nations, have implemented wastewater-based infectious disease surveillance systems to monitor outbreak trends and enable early detection of disease occurrences and emerging variants, thereby helping to prevent their spread [5-7]. In the Republic of Korea (ROK), the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) has operated the “Korea Wastewater Surveillance system” since 2021, monitoring community-transmitted infectious diseases such as severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and influenza viruses [8]. Moreover, to complement the traveler quarantine system—which primarily targets symptomatic individuals at airports and seaports—a wastewater-based infectious disease surveillance project has been initiated at these points of entry, managed by five Regional Centers for Disease Control and Prevention and their affiliated quarantine stations [9]. In the Chungcheong region, the Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention conducts a wastewater- and sewage-based surveillance in collaboration with the Gunsan and Pyeongtaek Quarantine Stations at the Cheongju Airport Branch Office. This report presents the surveillance outcomes for eight quarantinable infectious disease pathogens—SARS-CoV-2, influenza virus, mpox virus, dengue

virus, Zika virus, Chikungunya virus, yellow fever virus, and *Vibrio cholerae*—as well as the SARS-CoV-2 variant analysis results from the project conducted by the Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention between March and December 2024. The findings aim to provide foundational data to support the formulation of evidence-based national quarantine policies.

Methods

1. Sample Collection

Samples were collected from sites under the jurisdiction of the Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention. These sites included the Gunsan Quarantine Station (collecting wastewater from the Gunsan Port International Passenger Terminal, which operates routes between Shidao, Shandong Province, China, and Gunsan, ROK, as well as sewage from inbound ships); the Pyeongtaek Quarantine Station (collecting wastewater from the Pyeongtaek-Dangjin Port International Passenger Terminal, which operates routes between Weihai, Rizhao, and Yantai in Shandong

Province, China, and Pyeongtaek, ROK); and the Cheongju Airport Branch Office (collecting wastewater from Cheongju Airport and sewage from inbound aircraft). From March to December 2024, samples were collected weekly (with ship sewage at Gunsan Port collected biweekly), resulting in a total of 192 samples—127 wastewater samples from airports and seaports and 65 sewage samples from aircraft and ships. For wastewater collection, 1 L samples were obtained weekly from the wastewater collection tanks at Gunsan Port, Pyeongtaek Port, and Cheongju Airport using a sampling pole, transferred into sterile collection bottles, and transported to the Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention. For sewage, samples were collected from the discharge outlets of ships arriving at Gunsan Port from Shidao (north-central China) on a biweekly basis and from aircraft arriving from Clark, Philippines—a designated quarantine management area for cholera—on a weekly basis. A 1 L volume of sewage was collected using a manual pump, placed into sterile collection bottles, and transported to the Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention for analysis (Table 1).

Table 1. Surveillance sites and targets for wastewater monitoring at airports and seaports in the Chungcheong region, 2024

Surveillance sites	Sample type	Sampling frequency	Sampling period	No. of samples (192)	Route (Country)
Gunsan International Passenger Terminal Sewage Treatment Plant	Waste water	Weekly	Mar–Dec 2024	43	Shidao (China)↔Gunsan
Gunsan Seaport Ship	Black water	Biweekly	Mar–Dec 2024	22	Shidao (China)↔Gunsan
Pyeongtaek International Passenger Terminal Sewage Treatment Plant	Waste water	Weekly	Mar–Dec 2024	42	Weihai, Rizhao, Yantai (China)↔Pyeongtaek
Cheongju Airport Sewage Treatment Plant	Waste water	Weekly	Mar–Dec 2024	42	Japan, Vietnam, China, Taiwan, Philippines, Thailand etc.
Cheongju Airport Aircraft	Black water	Weekly	Mar–Dec 2024	43	Clark (Philippines)↔Cheongju

2. Laboratory Methods

Samples were concentrated by adding 100 µl of Dynabeads Intact Virus Enrichment (Invitrogen™; Thermo Fisher Scientific) to 40 ml of wastewater/sewage, followed by agitation for 15 minutes and the addition of 400 µl of release buffer [10]. Nucleic acids were then extracted from the concentrated samples using the Patho Gene-spin DNA/RNA Extraction Kit (iNtRON Biotechnology), according to the manufacturer's instructions. Custom-designed Thermo Fisher Scientific PreAmp Primer sets (Thermo Fisher Scientific) and TaqMan Array Cards (TAC) were used to perform genetic detection assays for eight pathogens: influenza virus, SARS-CoV-2, mpox virus, Zika virus, dengue virus, Chikungunya virus, yellow fever virus, and *Vibrio cholerae*. Nucleic acids extracted from the wastewater and sewage samples were pre-amplified for 14 cycles using the PreAmp Primers. Ten microliters of the amplified product were then mixed with 50 µl of TaqMan™ Fast Advanced Master Mix, No UNG (Thermo Fisher Scientific) and 40 µl of nuclease-free water, yielding a final volume of 100 µl, which was dispensed into the TAC. Amplification was performed with an initial denaturation step at 95°C for 10 minutes, followed by 40 cycles of 95°C for 3 seconds and 60°C for 30 seconds. The results were analyzed according to the manufacturer's guidelines. Additionally, SARS-CoV-2-positive samples collected from August to December were subjected to next-generation sequencing by the Division of Emerging Viruses at the KDCA. Raw sequencing data were quality-assessed and trimmed using CLC Genomics Workbench (Qiagen Digital Insights). The processed sequences were subsequently evaluated for quality using Nextclade, and detailed lineages were identified through Pangolin analysis [10]. For correlation analysis between the monthly detection rates of influenza virus

and SARS-CoV-2 in airport and seaport wastewater/sewage samples and reported patient case counts, 2024 surveillance data on COVID-19 and influenza cases from the Daejeon, Sejong, Chungbuk, and Chungnam regions were obtained from the Quarantine Integrated Information System.

Results

1. Genetic Detection Results from Wastewater and Sewage Samples Collected at Points of Entry in the Chungcheong Region

From March to December 2024, genetic detection tests using TAC were conducted on nucleic acids extracted from 192 wastewater and sewage samples collected at quarantine stations in the Chungcheong region to analyze the presence of the eight target pathogens. Among these pathogens, *Vibrio cholerae*, mpox virus, and the mosquito-borne viruses (Zika virus, dengue virus, and yellow fever virus) were not detected in any of the 192 samples. In contrast, SARS-CoV-2 was detected in 101 of 192 samples, representing a detection rate of 52.6%, while influenza virus was detected in 38 samples, corresponding to a detection rate of 19.8% (Table 2). When analyzed by point of entry, Cheongju Airport exhibited a SARS-CoV-2 detection rate of 72.6% (61/84 samples) and an influenza virus detection rate of 22.6% (19/84 samples). In contrast, the seaports in the Chungcheong region (Pyeongtaek, Gunsan) showed a SARS-CoV-2 detection rate of 37.0% (40/108 samples) and an influenza virus detection rate of 17.6% (19/108 samples), indicating higher detection rates for both viruses at the airport than at the seaports. When comparing pathogen detection rates by sample types, SARS-CoV-2 was detected in 52.3% (67/128 samples) of wastewater samples and 53.1%

(34/64 samples) of sewage samples, while influenza virus was detected in 20.3% (26/128 samples) of wastewater samples and 18.8% (12/64 samples) of sewage samples, revealing no significant difference between wastewater and sewage detection rates (Table 2).

The monthly influenza virus detection rate in airport and seaport wastewater/sewage samples was compared with the

number of patients with influenza cases in the Chungcheong region. In 2024, the detection rate of influenza virus in wastewater/sewage samples was highest in December (41.2%, 7/17), followed by November (36.8%, 7/19), March (33.3%, 6/18), August (29.4%, 5/17), April at 21.7% (5/23), September (14.3%, 3/21), and July (13.6%, 3/22) (Figure 1A). The trend in patients with influenza cases in the Chungcheong region

Table 2. The detection rate of pathogens in waste water and blackwater samples from airports and ports in the Chungcheong region (March–December 2024)

	No. of samples collected	SARS-CoV-2	Influenza virus (A/B)	Other pathogens ^{a)}
Total	192	101 (52.6)	38 (19.8)	0 (0.0)
Site				
Port	108	40 (37.0)	19 (17.6)	0 (0.0)
Airport	84	61 (72.6)	19 (22.6)	0 (0.0)
Specimen type				
Waste water	128	67 (52.3)	26 (20.3)	0 (0.0)
Black water	64	34 (53.1)	12 (18.8)	0 (0.0)

Values are presented as number (%). SARS-CoV-2=severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. ^{a)}Mpox virus, Zika virus, dengue virus, Chikungunya virus, yellow fever virus, and *Vibrio cholerae*.

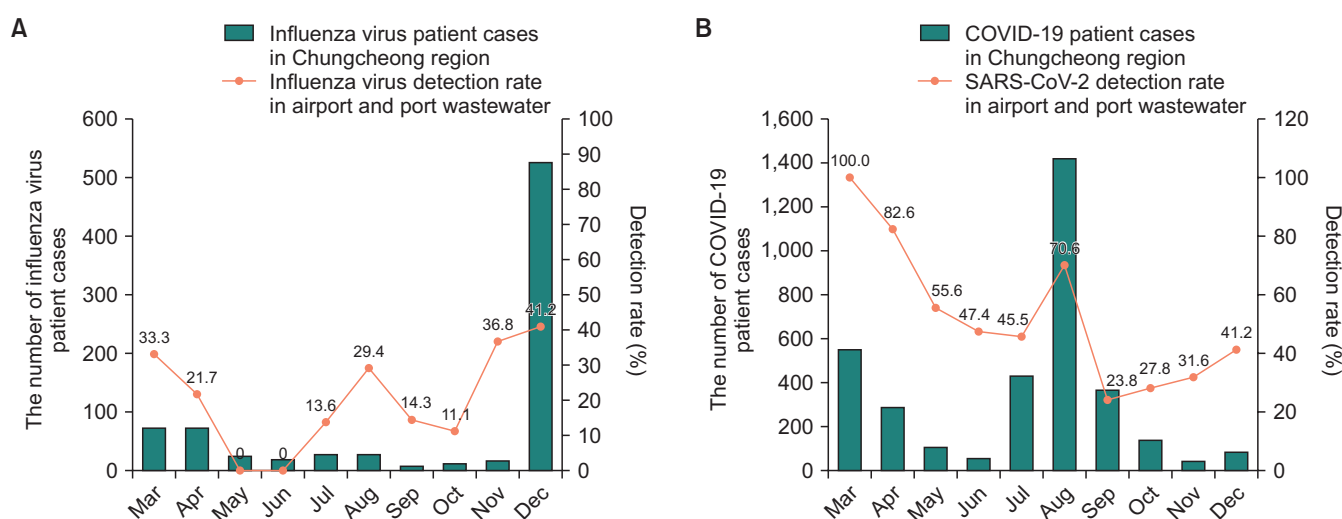


Figure 1. Monthly detection rate of influenza and SARS-CoV-2 viruses in wastewater samples from airports and ports in the Chungcheong region (March–December 2024)

(A) Monthly detection rate of influenza virus in waste water samples from airports and ports (orange solid line) and number of reported influenza virus cases in Chungcheong region (blue bar). (B) Monthly detection rate of SARS-CoV-2 in wastewater samples from airports and ports (orange solid line) and number of reported SARS-CoV-2 cases in Chungcheong region (blue bar). SARS-CoV-2=severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; COVID-19=coronavirus disease 2019.

generally mirrored the wastewater/sewage detection trend; however, while the number of patient cases began increasing in December, wastewater/sewage detection rates started to rise in November, peaking in December. These findings suggest that influenza detection in airport and seaport wastewater/sewage preceded the increase in patient cases by at least 1 month (Figure 1A). Similarly, the monthly SARS-CoV-2 detection rate in airport and seaport wastewater/sewage samples was compared with the number of patient cases in the Chungcheong region. From March to December 2024, the detection rate of SARS-CoV-2 was highest in March (100.0%, 18/18 samples), followed by a gradual decline in April (82.6%), May (55.6%), and June (47.4%). The number of patients with SARS-CoV-2 cases in the Chungcheong region showed a comparable trend. Furthermore, the detection rate decreased to 45.5% in July, then increased sharply to 70.6% in August—mirroring a marked rise in sentinel surveillance case numbers—before declining again to 23.8% in September, in parallel with a reduction in patient cases (Figure 1B).

2. SARS-CoV-2 Variant Analysis in Wastewater and Sewage Samples Collected from Points of Entry in the Chungcheong Region

From August to December 2024, SARS-CoV-2 variant analysis was conducted on positive wastewater and sewage samples collected from points of entry in the Chungcheong region. During this period, 92 samples were collected, of which 35 tested positive for SARS-CoV-2. Among these, 11 samples were suitable for whole-genome sequencing, and all were identified as Omicron variants. Subvariants analysis revealed two cases of KP.3 in August; one case each of KP.3 and JN.1 in September; one case each of KP.3 and JN.1 in October; one case each of JN.1 and XEC in November; and one case each of KP.3, JN.1, and XEC in December (Table 3). Furthermore, when compared with the Omicron subvariants identified in community clinical samples in ROK during the study period (August–December 2024), the KP.3 variant—recognized as the predominant domestic lineage—was also found to be the most frequently detected subvariant in airport and seaport

Table 3. Analysis of omicron subvariants of SARS-CoV-2 detected in airport and port wastewater samples and comparative analysis with subvariants prevalent in Republic of Korea (August–December 2024)

Collection date (2024)	No. of sample	No. of SARS-CoV-2 detected	No. of sequence analysis	Variants identified	SARS-CoV-2 Omicron subvariants prevalent in Republic of Korea
August	17	12/17 (70.6)	2/12 (16.7)	KP.3	KP.3 (60.9), JN.1 (11.5), KP.2 (8.5), XEL (7.4), LB.1 (4.9), JN.1.16 (4.4), XEC (0.1), etc. (2.3)
September	21	5/21 (23.8)	2/5 (40.0)	KP.3 JN.1	KP.3TT (61.7), XEL (16.7), JN.1 (7.4), KP.2 (6.5), LB.1 (2.7), JN.1.16 (2.5), XEC (0.5), etc. (2.0)
October	18	5/18 (27.8)	2/5 (40.0)	KP.3 JN.1	KP.3 (70.2), XEL (14.4), JN.1 (7.1), KP.2 (2.5), LB.1 (2.5), JN.1.16 (0.3), XEC (0.9), etc. (2.2)
November	19	6/19 (31.6)	2/6 (40.0)	JN.1 XEC	KP.3 (55.5), XEL (18.7), JN.1 (7.7), KP.2 (1.9), LB.1 (1.3), JN.1.16 (12.9), XEC (9.7), etc. (3.3)
December	17	7/17 (41.2)	3/7 (42.9)	KP.3 JN.1 XEC	KP.3 (48.2), XEL (17.3), JN.1 (10.8), KP.2 (0.7), LB.1 (2.2), JN.1.16 (2.9), XEC (16.5), etc. (1.4)

Values are presented as number (%) or percentage. SARS-CoV-2=severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. Reused from Korea Disease Control and Prevention Agency (<https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20107030000>) [11].

wastewater and sewage samples [11].

Discussion

Wastewater and sewage surveillance at national gateways such as airports and seaports is an effective strategy for the early detection of and proactive response to imported infectious diseases [2]. Analysis of the 2024 surveillance data and SARS-CoV-2 variant findings from points of entry in the Chungcheong region confirmed that wastewater and sewage surveillance can complement patient-based surveillance in the quarantine process and serve as an effective tool for the early detection of imported infectious diseases. Specifically, analysis of eight pathogens in airport and seaport wastewater and sewage samples showed detection rates of 52.6% for SARS-CoV-2 and 19.8% for influenza virus, consistent with findings from other wastewater-based surveillance studies [12-14].

Sampling sites were selected based on wastewater collected from major points of entry in the Chungcheong region—Cheongju Airport, Gunsan Port, and Pyeongtaek Port—as these facilities serve as primary entry points for all individuals entering the region from abroad, thereby ensuring representativeness (accounting for 65% of total samples). Aircraft were selected based on high-risk routes, in accordance with the Quarantine Act, targeting flights originating from the Philippines, a designated quarantine management area for cholera, to enhance cholera surveillance. For ships, sewage (35% of total samples) was collected from the passenger ferry operating between Shidao, Shandong Province, China, and Gunsan, to monitor potential introductions of infectious diseases from China—a country with substantial travel and trade exchange with ROK. However, since sewage samples were not

collected from all incoming ships and aircraft, the representativeness of sewage surveillance results is limited with respect to the total volume of international traffic.

Several wastewater surveillance studies have reported instances in which influenza virus was detected in wastewater prior to the first reported patient cases [15]. Similarly, our point-of-entry surveillance analysis showed an increase in influenza virus detection rates beginning in November—approximately 1 month before the rise in sentinel surveillance patient cases in the Chungcheong region. The elevated detection of influenza virus in airport and seaport wastewater and sewage during November and December is presumed to be associated with the concurrent rise in influenza incidence in Japan and China. According to international arrival data, the largest proportions of travelers at Cheongju Airport were from Japan (46.7%), Vietnam (22.6%), and China (7.0%); at Gunsan Port, from China (81.0%) and Japan (5.0%); and at Pyeongtaek Port, from China (78.5%) and Japan (4.0%) [16]. Furthermore, in November, patients with influenza accounted for 79.9% and 5.3% of all individuals under respiratory infectious disease surveillance in Japan and China, respectively. In December, these proportions increased markedly to 91.4% in Japan and 21.4% in China, indicating a significant month-to-month rise in influenza activity [17]. Influenza seasonality is known to vary across geographic regions, with distinct epidemic timing between low-latitude (Southeast Asia) and mid-latitude (Northeast Asia) areas, and even within China, seasonal peaks differ between southern and north-central regions [18]. However, in this study, sample collection was limited to a single ship departing from Shidao, China (arriving at Gunsan Port) and one aircraft route departing from the Philippines—a designated cholera quarantine area (arriving at Cheongju

Airport). Consequently, the analysis of detection rate differences by region of origin was constrained. To enhance the reliability and representativeness of future analyses, it will be essential to develop surveillance strategies encompassing a broader range of target ships and aircraft from diverse regions, thereby enabling more comprehensive evaluation of regional variations in pathogen detection rates.

The SARS-CoV-2 detection rate in wastewater and sewage at points of entry in the Chungcheong region increased in August and decreased in September, reflecting the trend observed in patient case numbers. However, unlike influenza, this increase did not precede the rise in cases. Although many studies on SARS-CoV-2 wastewater surveillance have reported that detection rates in wastewater precede increases in clinical cases, other studies have found no such leading relationship. Indeed, while SARS-CoV-2 detection in wastewater served as a leading indicator during the first wave of the COVID-19 pandemic, this pattern was not consistently observed in later periods. For instance, an analysis conducted in Arizona from December 2020 to January 2021 reported that wastewater detection trends lagged behind clinical indicators [19, 20].

The observed increase in the SARS-CoV-2 detection rate in wastewater and sewage at points of entry in the Chungcheong is presumed to be associated with the COVID-19 epidemic trends in China and Japan. According to the World Health Organization's country-specific COVID-19 data [21], case numbers in China peaked in March 2024, declined through June, rose again in July and August, and subsequently decreased. This trend closely mirrors the SARS-CoV-2 detection pattern observed in wastewater and sewage samples from the Chungcheong.

Furthermore, whole-genome sequencing of SARS-CoV-2-positive samples from the points of entry identified the KP.3

variant in August; JN.1 and KP.3 in September and October; and KP.3, JN.1, and XEC in November and December. These findings suggest that the variants were likely introduced from China and Japan. Indeed, as of early October 2024, over 90% of COVID-19 cases in China were attributed to the JN.1 variant, whereas in Japan, over 90% were linked to the KP.3 variant [22]. However, since the number of samples subjected to variant analysis was small and whole-genome sequencing was feasible for only a subset, further research is warranted to more accurately characterize the introduction routes of these variants into ROK.

This study aimed to evaluate the correlation between two indicators by comparing and analyzing the results of wastewater- and sewage-based pathogen surveillance at points of entry in the Chungcheong region with infectious disease case trends in the same area. Although mpox, dengue fever, Zika virus, Chikungunya fever, cholera, and yellow fever were not detected among the eight target pathogens, the similar trends observed between the detection rates of influenza virus and SARS-CoV-2 in wastewater/sewage and regional patient case data confirmed the utility of the wastewater-based surveillance system. Additionally, genomic variant analysis of SARS-CoV-2 in samples collected from August to December 2024 showed that the predominant variants circulating in the Korean community were also the dominant lineages detected in wastewater and sewage at the points of entry.

Wastewater- and sewage-based infectious disease surveillance at airports and seaports represents a practical approach that complements existing quarantine systems centered on symptomatic individuals. This strategy has already been implemented in several countries, including the United States. In ROK, the KDCA has been operating a wastewater surveillance

system following a pilot project initiated in July 2023. It is anticipated that this wastewater- and sewage-based infectious disease surveillance system at airports and seaports will continue to evolve and play an increasingly pivotal role within the national infectious disease surveillance framework by supporting the early detection and prevention of the importation and community transmission of emerging and variant infectious diseases.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This study was supported by intramural funds (grant no. 6233-304-210-11) from the Korea Disease Control and Prevention Agency.

Acknowledgments: We would like to thank 3 National Quarantine Station (Gunsan National Quarantine Station, Pyeongtaek National Quarantine Station, and Pyeongtaek National Quarantine Station Cheongju Airport Branch). Additionally, we would like to express our gratitude to the Division of Emerging Infectious Diseases, Department of Laboratory Diagnosis and analysis, Korea Disease Control and Prevention Agency for conducting whole genome sequencing on SARS-CoV-2 positive wastewater samples.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: JHJ. Data curation: YSY, SYK, DGL. Formal analysis: YSY, BRK. Funding acquisition: JHJ. Investigation: YSY, SYK. Methodology: YSY, JHJ. Project administration: JHJ. Supervision: JHJ. Validation: YSY, BRK. Writing – original draft: YSY. Writing – review & editing: JHJ, DGL.

References

1. Diamond MB, Keshaviah A, Bento AI, et al. Wastewater surveillance of pathogens can inform public health responses. *Nat Med* 2022;28:1992–5.
2. Perez-Zabaleta M, Berg C, Latorre-Margalef N, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 from aircraft to citywide monitoring. *Nat Commun* 2025;16:5125.
3. Tay M, Lee B, Ismail MH, et al. Usefulness of aircraft and airport wastewater for monitoring multiple pathogens including SARS-CoV-2 variants. *J Travel Med* 2024;31:taae074.
4. Li J, Hosegood I, Powell D, et al. A global aircraft-based wastewater genomic surveillance network for early warning of future pandemics. *Lancet Glob Health* 2023;11:e791–5.
5. Lee JH, Park HJ, Yi H, Chung YS. Application and significance of wastewater-based pathogen monitoring in infectious disease surveillance: insights from international case studies. *Public Health Wkly Rep* 2024;17:2134–46.
6. Yousif M, Rachida S, Taukobong S, et al. SARS-CoV-2 genomic surveillance in wastewater as a model for monitoring evolution of endemic viruses. *Nat Commun* 2023;14:6325.
7. Tamáš M, Potocarova A, Konecna B, Klucar L, Mackulak T. Wastewater sequencing—an innovative method for variant monitoring of SARS-CoV-2 in populations. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:9749.
8. Jang J, Park SY, Kim SS, et al. Establishment and operation of national wastewater-based surveillance system on infectious diseases. *Public Health Wkly Rep* 2023;16:424–38.
9. Lee DI, Kim SH, Kim OS. Airport and port wastewater-based infectious disease surveillance. *Public Health Wkly Rep* 2025;18:33–43.
10. Lee C, Park J, No JS, et al. Wastewater-based surveillance for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 variants in Gwangju, Republic of Korea. *Front Microbiol* 2025;16:1676742.
11. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). COVID-19 dashboard [Internet]. KDCA; 2021 [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20107030000>
12. Kim YT, Lee K, Lee H, et al. Development of a wastewater based infectious disease surveillance research system in South Korea. *Sci Rep* 2024;14:24544.
13. Tiwari A, Radu E, Kreuzinger N, Ahmed W, Pitkänen T.

- Key considerations for pathogen surveillance in wastewater. *Sci Total Environ* 2024;945:173862.
14. Kim LH, Mikolaityte V, Kim S. Establishment of wastewater-based SARS-CoV-2 monitoring system over two years: case studies in South Korea. *J Environ Chem Eng* 2023;11:110289.
 15. Lehto KM, Länsivaara A, Hyder R, et al. Wastewater-based surveillance is an efficient monitoring tool for tracking influenza A in the community. *Water Res* 2024;257:121650.
 16. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Infectious disease control integrated system [Internet]. KDCA; n.d. [cited 2025 Aug 4]. Available from: <http://eid.kdca.go.kr/>
 17. World Health Organization (WHO). Influenza laboratory surveillance information [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Jun 9]. Available from: <https://worldhealthorg.shinyapps.io/flunetchart/>
 18. Yu H, Alonso WJ, Feng L, et al. Characterization of regional influenza seasonality patterns in China and implications for vaccination strategies: spatio-temporal modeling of surveillance data. *PLoS Med* 2013;10:e1001552.
 19. Bowes DA, Driver EM, Kraberger S, et al. Leveraging an established neighbourhood-level, open access wastewater monitoring network to address public health priorities: a population-based study. *Lancet Microbe* 2023;4:e29-37.
 20. Jones MJ, Ibrahim R, Clark S, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 and influenza in a dynamic university community: understanding how wastewater measurements correspond to reported cases. *Sci Total Environ* 2025;1000:180377.
 21. World Health Organization (WHO). WHO COVID-19 dashboard [Internet]. WHO; 2025 [cited 2025 Jul 24]. Available from: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?m49=156>
 22. Our World in Data. SARS-CoV-2 sequences by variant [Internet]. Our World in Data; 2025 [cited 2025 Jul 24]. Available from: <https://ourworldindata.org/grapher/covid-variants-bar?time=2024-08-12>

미세먼지 건강영향 대응 중재 연구에 대한 서술적 문헌고찰

권새별¹ , 이동욱² , 채수미³ , 김우진⁴ , 임명호⁵ , 이지호⁶ , 박명숙⁷ , 김환철^{2*} ¹인하대학교 의과학연구소, ²인하대학교병원 직업환경의학과, ³한국보건사회연구원 보건의료정책연구소, ⁴강원대학교 의학전문대학원 내과학교실,⁵단국대학교 공공보건과학대학 심리치료학과, ⁶울산대학교병원 직업환경의학과, ⁷서울대학교 의과대학 환경의학연구소

초 록

목적: 미세먼지는 인체 건강에 심각한 영향을 미치는 주요 대기오염 물질로, 국내·외에서 이를 저감하기 위한 다양한 중재 연구가 수행되어 왔다. 본 연구는 미세먼지 건강영향 저감을 위한 중재 연구의 동향을 파악하고, 향후 정책 및 연구 방향에 시사점을 제시하고자 한다.

방법: 국외 학술 데이터베이스 PubMed, Medline, Embase, Cochrane Library, Google Scholar를 이용하여 서술적 문헌고찰(narrative review)을 수행하였다. 1989년부터 2024년까지 발표된 문헌을 검토하였다.

결과: 총 70편의 중재 연구를 탐색하였다. 연구는 행동 중재, 공기청정기 사용, 마스크 착용, 약물·식이 중재, 국가 및 지역사회 기반 중재의 다섯 가지 유형으로 분류되었으며, 중재별로 교육·행동 중재 12편, 공기청정기 중재 22편, 마스크 중재 5편, 약물·식이 중재 9편, 정책 중재는 22편을 확인하였다. 행동 중재, 공기청정기 사용, 마스크 착용 중재는 생리·증상지표 일부 개선을 보였으나 단기·소규모로 수행된 연구가 많았다. 약물·식이 중재는 유의미한 결과들이 일부 보고되었으나 연구 설계의 한계가 있었고, 정책 중재는 사망·입원 등 인구수준 건강지표 개선을 보여주었다. 각 유형별 중재 내용, 연구 설계, 평가지표 및 결과를 분석한 결과, 대부분의 연구는 단기적 개입 중심이며 소규모 대상자를 포함하는 경향이 있었다.

결론: 미세먼지 건강피해 저감을 위한 중재 방안들은 건강영향 저감에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 향후 실제 국민들의 미세먼지 건강피해를 저감하는 데까지 나아가기 위해서는 중재의 지속 가능성과 정책적 연계가 중요할 것으로 보인다.

주요 검색어: 미세먼지; 중재연구; 건강영향; 문헌고찰

서 론

미세먼지(particulate matter, PM)는 대기 중에 부유하는 미세한 입자로, 인체 건강과 환경에 부정적인 영향을 미치는 대표적인 대기오염 물질이다. 미세먼지는 크기에 따라 직

경 10 μm 미만의 미세먼지(PM₁₀) 또는 2.5 μm 미만의 초미세먼지(PM_{2.5})로 분류한다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 1987년부터 미세먼지에 대한 대기질 가이드라인을 제시해왔으며, 2013년에는 WHO의 산하기구인 국제암연구소(International Agency for Research on

Received July 2, 2025 Revised September 19, 2025 Accepted September 30, 2025

*Corresponding author: 김환철, Tel: +82-32-890-3216, E-mail: carpediem@inha.ac.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA
Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약**① 이전에 알려진 내용은?**

미세먼지가 건강에 미치는 위험은 잘 알려져 있으며, 다양한 중재 방법이 단기적으로 연구되어 왔다.

② 새로이 알게 된 내용은?

미세먼지 중재 연구는 행동 중재, 공기청정기, 마스크 착용 등 5개의 유형이었으며, 대부분 소규모 연구로 단기적인 효과를 평가했다.

③ 시사점은?

미세먼지 중재는 연구 차원을 넘어서 지역사회 수준에서 지속 가능하고 체감할 수 있는 통합적 대응이 필요하다.

Cancer)에서 미세먼지를 1군(Group 1) 발암물질로 지정하였다[1].

미세먼지의 건강영향은 크게 단기영향 및 장기영향으로 나누어 볼 수 있다. 단기영향은 단기간 노출(1-2주 이내)에 따른 건강영향으로 사망률 증가, 심혈관계 건강영향, 호흡기계 건강영향이 있는 것으로 알려져 있다. 장기영향은 장기간 노출(수 주 이상-수 년)에 따른 만성적인 건강영향으로 사망률 증가, 심혈관질환 사망률 증가, 폐암 발생, 천식, 만성폐쇄성 폐질환 등 호흡기계 질환과의 관련성이 알려져 있다. 또한 임신부에서 생식과 발생(저체중, 조산)에 미치는 해로운 건강영향 또한 알려져 있다[2].

미세먼지의 주요 발생원으로는 차량 배출, 산업 및 화력 발전, 비산먼지, 해외 유입 등이 있으며, 발생원을 관리하여 노출을 저감하려는 노력이 이루어져 왔다. 이와 동시에 보건학적인 측면에서 개인의 노출 수준을 저감하기 위해 미세먼지 대응 마스크 착용 및 공기청정기 사용에 대한 연구 역시 이루어져 왔으며, 효과성에 대한 주요 연구들이 보고된 바 있다.

이와 관련하여 국내·외에서는 미세먼지 저감을 위한 다양한 연구와 정책들이 추진되었다.

2019년 부천에서는 ‘스마트 미세먼지 클린 특화단지’라

는 스마트시티 운영과 관련된 리빙랩을 운영하여 실시간으로 농도를 모니터링하고 저감장치를 가동하여 지역 주민들에게 정보를 제공하는 서비스를 수행하여 통학로, 공업단지, 지하철역 등에 배출원 저감 및 정보 제공을 통한 행동 중재의 기반을 마련하였다[3]. 또한 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency)은 2005년부터 국가의 규제방식을 보완하고, 지역사회 특성에 기반한 환경문제를 해결하기 위해 지역사회 차원에서 환경오염의 오염원 파악, 환경보건문제의 우선순위를 선정하여 지역사회 환경 개선, 환경위험에 대한 노출을 감소시켜 지역주민의 건강을 보호할 수 있는 Community Action for a Renewed Environment (CARE) 프로그램을 수행하였다[4].

본 연구에서는 국내·외 미세먼지 건강영향 저감과 관련된 중재 연구 동향을 종합적으로 검토하고, 기존 연구의 한계를 분석하여 향후 연구 및 정책 방향에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 이를 통해 효과적인 미세먼지 대응 전략을 모색하고, 보다 실질적인 건강 보호 대책 마련에 기여하고자 한다.

방 법

미세먼지 중재 연구에 대한 동향 파악을 위한 문헌고찰을 수행하였다. 연구 질문 설정을 위하여 PICO 양식을 활용하였다. 대상(population)은 인간을 대상으로 한 연구를 설정하였다. 중재(intervention)는 미세먼지 건강영향에 대한 중재 방법들을 포함하였다. 비교(comparison)는 중재가 이루어지지 않은 인구집단을 설정하였다. 결과지표(outcome)는 인간 건강과 관련된 지표로 설문, 임상지표, 의료이용 등 모든 요인을 포함하였다. PubMed, Medline, Embase, Cochrane Library, Google Scholar 등에서 1989년부터 2024년까지 출판된 연구들을 대상으로 “air pollution”, “particulate matter”, “trial or(and) intervention”, “randomized” 등 키워드들을 포함한 연구들을 탐색하였다. 선정기준(inclusion criteria)은 연구질문

에 부합하는 접근 가능한 연구들에 대한 원저(original article)의 영문으로 출판된 학술 저널 논문만을 포함하였다. 배제기준(exclusion criteria)으로 리뷰, 학회 발표, 초록, 보고서 등의 문헌들은 제외하였으며, 개발도상국 등에서 실내 조리로 인해 발생하는 실내 대기오염에 대한 중재 연구는 제외하였다. 두 명의 저자가 독립적으로 수행한 뒤 일치 여부를 비교분석하였고, 최종적으로 또 다른 저자의 검토 하에 미세먼지 건강영향 대응 중재 연구만을 선정하였다.

결 과

최종적으로 탐색된 문헌의 수는 70편으로, 5개의 유형(교육·행동 중재, 공기청정기 중재, 마스크 착용 중재, 약물·식

이 요법 중재, 정책 중재)으로 분류하였으며, 국가별로 발행된 논문은 전 세계 10개 도시에서 컨설팅으로 진행된 논문 1편을 제외하고 중국이 25편으로 가장 많았고 미국이 18편으로 뒤를 이었다. 그 외 한국 6편, 캐나다 5편, 이란 3편이었으며, 대만, 영국, 일본, 홍콩은 각각 2편씩, 멕시코, 몽골, 스페인, 아일랜드에서 1편씩 검색되었다. 중재 방법 별로 교육·행동 중재 12편, 공기청정기 중재 22편, 마스크 중재 5편, 약물·식이 중재 9편, 정책 중재는 22편이었다(표 1).

1. 교육·행동 중재

교육·행동 중재는 미세먼지 건강영향 대응과 관련된 내용을 연구대상자에게 교육을 수행하거나, short message service (SMS)나 알람 기기 등을 통해 연구대상자에게 행동 변화

표 1. 연구의 연도별·국가별·중재 방법별 분포

	변수	n=70	100 (%)
연도	1980~2000	1	1.4
	2001~2010	7	10.0
	2011~2015	9	12.9
	2016~2020	41	58.6
	2021~2024	12	17.1
국가	중국	25	35.7
	미국	18	25.7
	한국	6	8.6
	캐나다	5	7.1
	이란	3	4.3
	홍콩	2	2.9
	일본	2	2.9
	영국	2	2.9
	대만	2	2.9
	아일랜드	1	1.4
	스페인	1	1.4
	몽골	1	1.4
	멕시코	1	1.4
	다국적 연구	1	1.4
중재 방법	교육·행동 중재	12	17.1
	공기청정기 중재	22	31.4
	마스크 중재	5	7.1
	약물·식이 중재	9	12.9
	정책 중재	22	31.4

표 2. 교육·행동 중재 연구

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
행동 중재	McCarron 등[5]	2025	영국	천식 환자 28명 (대조군 8명, 중재군 9명)	무작위 배정, 1주일 동안 모니터링	대조군에서는 PM _{2.5} 농도가 평균 4.7 µg/m ³ 감소했으며(-15.6-0.4 µg/m ³ 범위), 중재군에서는 천식 증상이 보고된 시간 비율이 4.6% 감소한 반면, 대조군에서는 0.5% 증가
교육 개입	Supervia 등[6]	2024	스페인 마드리드	심혈관질환자 43명	파일럿 연구, 대면 또는 온라인 교육	공기오염에 대한 인식 향상, AQI에 대한 친숙도는 61%에서 81%로 상승, PM _{2.5} 에 대한 이해도는 28%에서 58%로 향상, 심혈관 건강 개선 가능성
행동 중재	Kang 등[7]	2023	한국	COPD 환자 102명	참가자 1:1 무작위로 행동 개입 1) 실내 공기필터 작동 여부 확인 및 정기적인 교체, 2) 공기질 예보 정기적으로 확인, 3) 창문을 열어 정기적인 환기, 4) 대기오염 수준이 높은 날 실외 활동 자제, 5) 흡입기 치료 준수	SGRO-C 및 CAT 점수에서 유의미한 개선을 보임
정보 제공 및 행동 수정	Rosser 등[8]	2023	미국 피츠버그	천식아동 40명	시험 연구 수행 모든 참가자는 천식 행동 계획과 공기질 지수 교육을 받음. 개입 그룹은 인쇄된 공기질 지수 정보를 받고 AirNow 사용 안내	공기질 지수를 천식 행동 계획에 추가하는 것은 천식 통제 검사 점수로 볼 때 천식 통제를 개선시키지만, 야외 활동 감소를 초래할 수 있음
차량 환기	Kumar 등[9]	2021	전 세계 10개 도시		연구자들이 각 도시에서 각 세팅별로 일 중 3회 주행을 3-10회 반복: 1) 창문환기, 2) 외기환기, 3) 내기순환	PM _{2.5} , PM ₁₀ 농도는 내기순환<외기환기<창문환기 순
외부 신체 활동	Liu 등[10]	2020	캐나다 토론토	Implanted cardioverter defibrillator 착용 환자	ICD를 가진 18명의 환자를 비교군과 미세먼지가 높을 것으로 예측되는 날 실내 및 실외에서 30분간 걷기 운동을 하여 혈압, 맥박수, 산소포화도 등을 측정	대기오염은 혈압, 맥박수 증가와 낮은 산소포화도와 유의한 관련이 있었음 환자군에서 미세먼지 노출을 줄이면 심혈관계 부작용이 줄어들 수 있으며, 매일 가벼운 운동은 심혈관 기능에 도움이 될 수 있음

표 2. 계속

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
교육	Guo 등[11]	2020	대만	COPD 환자 63명	교육을 수행한 군(n=25)과 하지 않은 군을 비교	일부 증상 개선 효과
경고 알림	Hovell 등[12]	2020	미국 샌디에고	일반 인구집단	가족 구성원 중 흡연자와 14세 이하 어린이가 모두 있는 298가구를 모아서, 개입군과 비교군에 무작위로 배정하여 두 군 사이에 고농도 미세먼지 이벤트와 실내 공기 중 니코틴 농도를 비교	실시간으로 신호를 주는 것이 담배연기를 포함한 인간 활동으로 인한 미세먼지 발생을 줄이는데 효과가 있음
운동 강도	Giles 등[13]	2019	캐나다	성인 남성 18명	휴식, 평상시 대비 VO ₂ peak가 30% (저강도), 60% (고강도) 운동 X filtered air or PM _{2.5} 300 ug/m ³ 의 6가지 조합 수행 후 검사	고강도 운동이 adhesion molecules이나 전신 염증 반응 마커를 증가하는 것으로 보이지 않음
SMS	Mehiriz와 Gosselin [14]	2019	캐나다	캐나다 성인 1,328명 모집 중재군 (n=268) vs. 대조군(n=251)	APWS를 이용 여부에 따라 나누고, 전화 설문 3차례 수행	APWS 이용 시 경보 발령 시(창문을 닫고) 실내에서 시간을 더 많이 보냄
경보 및 교육 SMS	Jasemzadeh 등 [15]	2018	이란	GA 12-20주의 임신부 130명	Random allocation (intervention, n=65; control, n=65) 2개월 동안 매일 문자 메시지를 송부 Extended parallel process model을 이용하여 36개의 문자메시지를 개발	산모의 문제 인식도와 행동 변화를 이끌어내는 데 문자메시지 개입이 효과
교육 (인터뷰, 책자, SMS)	Araban 등[16]	2017	이란	임신부 104명 (중재군 53명, 대조군 51명)	무작위 대조시험으로, 한 시간 동안 대기 오염 건강영향 예방 수칙에 대한 인터뷰(motivational interviewing) 1개월간 매일 SMS를 송부 대기오염과 관련된 교육 책자 지급	중재군과 대조군 사이에 행동 변화 단계, 문제 인식도, 자기 효능감, 행동 변화의 이득, 실제 행동 변화 등이 유의한 차이

PM=미세먼지(particulate matter); AQI=대기질 지수(air quality index); COPD=만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary disease); SGRQ-C=St. George's 호흡기 설문지(St. George's respiratory questionnaire for COPD); CAT=COPD 평가 검사(COPD assessment test); ICD=삽입형 제세동기(implanted cardioverter defibrillator); SMS=short message service; APWS=자동 전화 대기오염 경보 시스템(automated phone smog warning system); GA=gestational age.

를 유도하는 연구들을 포함한다. 이 범주에 포함되는 연구는 12편이었다(표 2). 연구대상자 수는 100-500명 수준이었으

며, 1-2개월 가량 중재 후 건강영향을 평가한 연구들이 대부분이었다. 또한 행동 중재에는 미세먼지 정보 및 대응 수칙 등

표 3. 공기청정기 중재 연구

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
공기청정기	Xia 등[17]	2024	홍콩	70세 이상 47명(대조군 24명, 중재군 23명)	참가자 무작위로 실제 공기정화 그룹과 가짜 공기정화 그룹으로 나눠 미세먼지 농도 측정	실제 공기 정화 그룹에서 PM _{2.5} 농도가 28% 감소했으며, 1년 동안 더 낮은 수준을 유지함 12개월 후, 실제 공기정화 그룹에서는 이완기혈압이 유의하게 감소했으며, 수축기 혈압도 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았음
공기청정기	Liu 등[18]	2023	중국	관상동맥 환자 80명	무작위 교차 설계(단일맹검), PM _{2.5} 노출 수준과 개입 후 심혈관 지표(염증, 응고, 플라크 안정성, 혈중 지질)를 측정하고, 설문조사를 통해 약물 사용 정보를 수집하여 약물이 심혈관 지표에 미치는 영향을 정리하여 공기청정기를 통한 PM _{2.5} 감소와 심혈관 지표 간의 연관성을 분석	약물 복용과 동시에 공기청정기 사용이 SCAD 환자의 CRP 감소와 HDL-C 증가에 유의미한 효과를 보였으며, PM _{2.5} 오염 환경에서 SCAD 환자의 건강을 보호하는 효과적인 방법
공기청정기	Wei 등[19]	2022	중국	조현병 환자	산화 스트레스 지표 감소와 재발 위험 증가: 산화 스트레스 총 항산화 능력 감소, 조현병 재발 위험 사이의 연관성을 연구	미세먼지 노출 감소를 통한 공기정화가 조현병 환자의 재발 위험 감소와 산화 스트레스 지표 개선에 기여할 수 있음을 제시
공기청정기	Barkjohn 등[20]	2021	중국 상하이	어린이 43명	무작위 순서로 2주간 HEPA - sham 필터 적용	PM _{2.5} 40→25 ug/m ³
음이온발생기	Liu 등[21]	2021	중국 상하이	대학생 56명	무작위 순서로 1주간 true - same 기기 적용	Intervention 효과는 유의하지 않음 측정된 PM _{2.5} , 음이온과 요증 malondialdehyde 사이 양의 연관성 PM _{2.5} 30→8 ug/m ³ 음이온 53→60,591/cm ³
공기청정기	Bard 등 [22]	2020	미국 미시건	고령 심질환자 20명	무작위 순서로 5일간 HEPA - sham 필터 적용	Personal PM _{2.5} monitoring 기기 적용 시 43.8% 감소
공기청정기	Kim 등 [23]	2020	한국 인천	천식 환자 13명과 대조군 13명	7주간 crossover intervention	천식 환자에서 실내 PM _{2.5} 1 ug/m ³ 감소 시 PEFR 1.2% 감소 PM _{2.5} 43% 감소
공기청정기	Cui 등[24]	2020	중국 상하이	천식 소아환자 43명	무작위 순서로 2주간 HEPA - sham 필터 적용	Impulse oscillometry로 측정 한 airway mechanics의 개선 실내 PM _{2.5} 30→10 ug/m ³

표 3. 계속 1

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
공기청정기	Chen 등 [25]	2019	중국 상하이	젊은 성인 45명	9일간 purification vs. sham, 12일의 wash-out period - KJEA200E (3M Filtrete) LC-MS를 이용하여 요중 대사체들의 차이를 분석	40여 종의 에너지 대사, 산화 손상, 염증 관련 요중 대사체 차이를 발견 PM _{2.5} 는 에너지 대사 과정에 변화를 유발하고 산화적 손상과 염증을 일으킬 것이라라는 결론을 제시 PM _{2.5} 외기 101.4 ug/m ³ , sham 시기 46.5 ug/m ³ , HEPA 시기 11.1 ug/m ³
음이온발생기	Dong 등 [26]	2019	중국 베이징	어린이 44명	무작위 순서로 5주간 true - same 기기 적용	공기청정기 사용 시 PM 농도의 저감 효과를 확인하였고, FEV 증가, FeNO 감소가 통계적으로 유의하게 나타남 PM _{2.5} 34% 감소, BC 50% 감소 음이온 12→12,997/cm ³
공기청정기	Gao 등[27]	2019	중국 상하이	유치원아 43명	2개 반에 교차하여 2일간 HEPA - sham 필터 적용	기기 적용 시 타액 lysozyme 증가. Nasal bacterial taxa의 diversity는 유의한 차이 없었음 PM _{2.5} 85.7→29.1 ug/m ³
공기청정기	Barn 등 [28]	2018	몽골	몽골 지역 아파트에 산모(시험군 223명, 대조군 240명)	HEPA 필터 공기청정기를 설치한 중재군과 아무것도 설치하지 않은 대조군을 만들어 준 다음 출생체중을 관찰함	대조군에 비해 중재군에서 출산 체중이 85 g 낮게 나타남을 보고
공기청정기	Morishita 등[29]	2018	미국 디트로이트	도심 지역의 저소득 노인 40명	Unfiltered air/공기청정기 설치(저효율, 고효율) 3-way crossover intervention study 3일 연속, 오전 혈압 측정	공기청정기 사용 시 수축기 혈압(3.4 mmHg) 및 이완기 혈압(2.2 mmHg) 강하 효과가 있었음
공기청정기	Liu 등[30]	2018	중국 베이징	베이징 지역 성인 35명(20가구)	2주간: active filtration 2주간: sham filtration (without filter)	PM _{2.5} , BC SBP, SDNN 연관성은 관찰되었으나, 공기청정기 사용 유무에 따른 통계적 유의성은 관찰되지 않음 공기청정기 사용 시 실내 PM _{2.5} 34.8%, BC 35.3% 감소
공기청정기	Li 등[31]	2018	중국 상하이	건강한 성인 36명	각 9일간: active filtration or sham filtration 이후 12일 washout 후 crossover	31개의 gene 관련 CpG loci (49개의 CpG loci)에서 false discovery rate <0.01 이하에서 유의한 메틸레이션 차이를 발견

표 3. 계속 2

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
공기청정기	Cohen 등 [32]	2018	미국	저소득층 23가구	최초/필터 타입 교체 시(3주 후)/연구 종료 시(6주 후) hsCRP, IL-6, TNFR11 in blood samples	HEPA filtration은 PNC를 50-85%까지 감축하는 효과가 있었지만, 염증 마커와 관련성은 없었음
공기청정기	Li 등[33]	2017	중국 상하이	건강한 대학생 55명	3일간 공기청정기 적용(금-일) 후 serum metabolomics 등 측정 Model KJEA200E (3M Filtrete) 12일간의 washout period 후 crossover	PM과 cortisol, cortisone, epinephrine, NE는 유의한 양의 상관관계 또한 공기청정기는 스트레스 호르몬을 유의하게 감소
성능향상된 난로와 공기청정기	Noonan 등 [34]	2017	미국	벽난로를 사용하는 천식 환자(n=115)가 있는 가정 98가구	Randomized 하여 sham filter 군, 개선된 벽난로 군, 공기청정기 군으로 배정하여, 적용 전 겨울, 1년 뒤 적용 후 겨울 관찰	천식을 가진 어린이가 나무연기에 장기간 노출될 때, 공기청정기는 삶의 질에 영향을 주지 못함
공기청정기	Shao 등 [35]	2017	중국 베이징	베이징 내 노인 35명 (20가구)	Baseline measurement 수행 2주간 active-mode or Sham-mode 상태로 지내며 ambulatory BP & HRV monitoring 이후 병원 방문 검진 이후 2주간 mode 바꾸어서 다시 관찰	폐기능, 산화손상지표, 혈압, HRV 등 생체지표 중에서는 IL-8만 유의한 차이 관찰됨 공기청정기는 PM _{2.5} 의 주요 성분 별로 42-63%까지 절감
공기청정기	Chuang 등 [36]	2017	대만 타이페이	Homemakers 200명	창문을 닫고, air conditioner를 사용하도록 1년간 F/U 후 real↔sham 교체. 각 가정에 1년 6차례 방문하여 채혈 등	장기간 PM _{2.5} 노출은 systemic inflammation 지표들과 연관성이 있고, air conditioner filter가 이러한 건강영향을 유의미하게 변화시킬 수 있음
공기청정기	Jhun 등 [37]	2017	미국	3개 학교의 18개 교실, 25명의 천식 환자	Randomized trial 공기청정기 vs. sham	FEV1과 천식 증상과는 유의한 관계가 관찰되지 않음 교실에 공기청정기를 설치하면 PM _{2.5} 와 BC가 유의한 저감
공기청정기	Chen 등 [38]	2016	중국 상하이	Fudan 대학 기숙사에 사는 대학생 35명(10개 방)	48시간 동안 purification vs. sham, 2주 wash-out-qualified air purifiers (model FAP04; 3M Filtrete)	PM _{2.5} 증가 시 candidate gene의 methylation이 감소 Air purification은 반대로 DNA methylation을 증가 PM _{2.5} ↔sCD40L 사이 연관성에서 CD40LG 좌위의 hypomethylation이 매개 역할

PM=미세먼지(particulate matter); SCAD=안정형 관상동맥질환(stable coronary artery disease); CRP=C-반응 단백(C-reactive protein); HDL-C=고밀도 지단백 콜레스테롤(high-density lipoprotein cholesterol); PEF=최대호기유속(peak expiratory flow rate); LC-MS=액체 크로마토그래피-질량분석법(liquid chromatography-mass spectrometry); BC=블랙카본(black carbon); SBP=수축기 혈압(systolic blood pressure); SDNN=NN 간격의 표준편차(심박변이도의 지표, standard deviation of NN intervals); PNC=입자 수 농도(particulate number concentration); HRV=심박변이도(heart rate variability); BP=혈압(blood pressure).

을 SMS로 전송하여 미세먼지에 대한 인지도의 변화를 살펴보거나 기저질환자에서 증상 개선 효과 등을 검증한 연구도 있었다. 또한 미세먼지 고농도에 따른 운동 강도가 미치는 영향을 생체지표 등을 통해 확인하여 미세먼지 수준에 따른 운동 효용 등을 연구한 논문, 대면 교육을 수행하고 피교육자의 미세먼지에 대한 인식도 및 행동 변화 등을 확인하는 연구도 있었다[5-16].

2. 공기청정기 중재

공기청정기를 활용한 미세먼지 건강영향 대응 중재는 22편 탐색되었다(표 3). 이 중 단 1편만 200명 이상 대규모 연구였고, 대부분 35-80명으로 소규모 수준이었다. 대부분의 연구에서 공기청정기 사용 시 실내 PM_{2.5}가 30-60% 정도 유의하게 감소했고, 흑탄소(black carbon) 농도도 감소하는 효과를 보였으나 건강지표에 대한 효과는 일관되지 않았다. 연구 대상은 건강한 성인뿐 아니라 천식 환자, 임신부 등 취약계층을

표 4. 마스크 중재 연구

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
마스크	Lim 등[39]	2020	한국 서울	노인 21명	1주차 control period, 2주차 마스크 착용, 3주차 control period	마스크 착용 시 SBP 감소, HRV 지표 개선, 8-OHDG 변화 등 발견
마스크	Zhang 등[40]	2019	중국 베이징	대학생 39명	Crossover trial 마스크 착용 후 지하철 공기 4시간 노출 후 채뇨(2주간 washout) 마스크 미착용 후 지하철 공기 4시간 노출 후 채뇨	남자에서 4종, 여자에서 7종의 요중 대사체가 마스크 착용 유무에 따라 차이 요중 8-OHDG 농도에 따라 HRV의 변화가 관찰
마스크	Guan 등[41]	2018	중국	건강한 성인 15명	Double-blind randomized, controlled crossover study 재사용 마스크(filter 유 vs. 무), 1개월 간격으로 crossover하여 2시간 실외 걷기	다중비교 문제를 고려하더라도, EBC 내 eNO, IL-1α, IL-1β, IL-6 농도의 증가가 마스크 군과 대조군 사이에 유의한 차이
마스크	Yang 등[42]	2018	중국	건강한 대학생 40명	각 round 별로 비연속 5일씩 실험, 2주간 wash-out ① No intervention ② 마스크 ③ 소음 차단 헤드폰 ④ ②+③	Intervention은 HRV high frequency parameter 상승, ST segment elevation 감소, HR 감소와 관련 혈압과는 관련성 관찰되지 않음
마스크	Shi 등[43]	2017	중국 상하이	상하이 지역 24명의 건강한 성인	Intervention group Particulate-filtering respirators 48시간 착용 실외 반드시 착용, 실내 가급적 착용 9시와 15시에 불편감, 건강증상 등에 대해 설문 3주간 wash-out 후 crossover	단기간 호흡 보호구를 착용하는 것은 자율신경계 기능 개선과 혈압 강하에 효과

SBP=수축기 혈압(systolic blood pressure); HRV=심박변이도(heart rate variability); EBC=호기 응축액(exhaled breath condensate); ST=피부 온도(skin temperature); HR=심박수(heart rate).

표 5. 약물·식이 중재 연구

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
Budesonide/ formoterol	Yang 등[44]	2022	중국	천식 환자	흡입치료제를 사용하지 않고 필요 시 SABA 또는 budesonide/formoterol를 사용하는 천식 환자들 중에서 중재 개입군의 경우 air quality index가 200 이하로 매우 나쁜 날에는 budesonide/formoterol 사용을 추가	중재 그룹에서는 연간 천식 악화 빈도가 대조 그룹에 비해 유의미하게 낮았으며(각각 0.55 대 2.67), 미흡한 외래 방문 횟수도 RIS 그룹에서 낮았음(각각 0.18 대 1.11)
오메가-3	Barkhordari 등 [45]	2020	이란	주유소 근무자 53명	무작위 배정 후 60일간 오메가-3 (n=29) 또는 플라시보(n=24) 복용	양 군의 전-후 수치 비교 하면 오메가-3 복용 시 IL-17, IFN- γ 감소, IL-10, TGF- β 증가
Fish-oil	Lin 등[46]	2021	중국 상하이	대학생 65명	무작위 배정 후 5개월간 fish-oil supplementation 처방 vs. 플라시보	D-Squame [®] tape samples로 측정된 피부 염증 지표의 개선
프로바이오틱스 (디자인페이퍼)	Wu 등[47]	2020	중국 청도	성인 120명	무작위 배정으로 플라시보 또는 프로바이오틱스를 배정받아 4주간 복용	비강 및 장관 내 16SrRNA sequencing assay data
Vitamin D (관찰연구)	Bose 등[48]	2019	미국 발티모어	천식 소아환자 120명	12개월간 3개월마다 1주씩, 총 4회 평가	비만한 천식 환자에서, serum 25-OH D level에 따라 PM _{2.5} 로 인한 증상 변화가 다르게 나타남
Fish-oil	Lin 등[49]	2019	중국 상하이	대학생 65명	무작위 배정 후 5개월간 fish-oil supplementation 처방 vs. 플라시보	혈중 산화손상지표, coagulation, endothelial function, 산화손상 지표, neuroendocrine 지표 등 개선을 관찰
NSAIDs	Wooding 등[50]	2019	미국	1,078명의 참전 용사 (1995-2012 년 추적)	Normative Aging Study cohort 자료를 이용(보스턴 지역 참전 용사 2,280명을 1995년부터 추적) 3-5년 주기로 신체검진, 문진, 인구학적 변수, 설문 등 PFT 자료가 있는 3,220회 방문 자료 이용 (1,078명) 매 방문 시 'NSAIDs를 복용 하십니까?' (예/아니오) 방문 1, 7, 14, 21, 28일 전 외기 중 PM _{2.5} 가 노출 변수	NSAIDs가 PM _{2.5} 노출 이후 급성 호흡기계에 미치는 영향을 변화시킬 수 있음을 시사

표 5. 계속

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
Vitamin B	Zhong 등[51]	2017	캐나다 토론토	10명의 건강한 성인을 대상 으로 실험	Vitamin B supplementation Single-blind placebo- controlled crossover trial 4주간 복용 후 PM _{2.5} 250 ug/m ³ 에 2시간 인위적으 로 노출	2시간 동안 고농도(250 ug/m ³)의 PM _{2.5} 에 노출 되면 HR ↑, HRV ↓, WBC ↑. 이러한 영향 은 vitamin B 보충 시 감소
Vitamin B	Zhong 등[52]	2017	캐나다 토론토	10명의 건강한 성인을 대상 으로 실험	Vitamin B supplementation Single-blind placebo- controlled crossover trial 4주간 복용 후 PM _{2.5} 250 ug/m ³ 에 2시간 인위적으 로 노출	Epigenome-wide methylation 분석 PM _{2.5} 는 미토콘드리아 의 에너지 대사 과정 에 관련된 유전자의 methylation을 유발하 며, vitamin B는 이러한 변화를 감소

SABA=단기 작용 베타 작용제(short-acting beta-agonist); PM=미세먼지(particulate matter); NSAIDs=비스테로이드성 소염제(non-steroidal anti-inflammatory drugs); PFT=폐기능 검사(pulmonary function test); HR=심박수(heart rate); HRV=심박변이도(heart rate variability); WBC=백혈구(white blood cell).

대상으로 진행된 연구도 있었다. 중재 기간은 보통 1-2주 가량 단기간 이루어졌고 장기간 효과는 불확실하다. 심혈관계, 호흡기계, 산화 스트레스 지표 등에서 긍정적 효과가 보고되지만, 연구마다 대상·기간·건강지표가 다르고 효과의 크기와 일관성은 제한적이었다. 음이온 발생기는 효과 근거가 부족하고, 건강 효과가 일관되지 않아 공기청정기보다 효과는 낮다고 할 수 있다[17-38].

3. 마스크 중재

마스크 중재 연구는 5편으로 연구대상자는 대부분 15-40명 내외로, 1일-1주 가량 중재한 연구들이 많았다. 미세먼지 노출 상황에서 일반 인구집단을 대상으로 마스크가 심혈관계 지표, 생체시계 내 산화적 손상 지표 등에 미치는 영향 등을 보고하였으며 표 4와 같다[39-43].

4. 약물·식이 중재

약물·식이 중재 연구는 9편으로, 연구 기간은 수 일 가량

항산화물질, 불포화지방산 등을 투약 후 혈중의 산화손상지표 또는 후생유전학적인 변화 등을 살펴보는 연구들이었다. 일부 기저질환자를 대상으로 미세먼지에 단기 또는 장기적으로 노출되었을 때, 기존 약물 처방을 조정함으로써 질병 관리에 어떤 영향을 미치는지를 분석한 연구도 있었으며 이는 표 5와 같다[44-52].

5. 정책 중재 연구

정책 중재 연구는 22편이었으며 미국, 중국, 호주, 일본, 인도, 캐나다, 멕시코 등 다양한 국가에서 진행되었다. 연구 설계는 무작위 배정 시험 연구 설계, 사전-사후 평가, interrupted time series 연구 등이 주를 이루었다. 대부분의 연구들이 연구 방법이나 중재, 건강영향 평가 등이 다양하고 상이하여 결론을 내리기 어려우나, 일부 연구들에서는 배출원을 감소시키는 중재들이 대기오염과 건강영향에 긍정적인 결과를 보였으며 표 6과 같다[53-74].

표 6. 정책 중재 연구

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
제련소 가동 중지	Pope [53]	1989	미국 유타주	유타주 병원 데이터	제철소 가동 중지로 인한 병원 입원과의 연관성	제철소가 가동한 시기 동안은 가동 중지 기간에 비해 어린이 입원율이 2-3배 높았음
올림픽 기간 중 교통밀집 집중 관리	Friedman 등 [54]	2001	미국 아틀란타	1-16세 어린이	올림픽 경기 17일 기간 동안 경기 전 4주와 경기 후 4주 간 교통량 변화에 따른 대기질 및 어린이 천식에 대한 생태학적 연구	올림픽 기간 동안 천식 급성 치료 사건 수는 4개 기관에서 각각 41.6%, 44.1%, 11.1%, 19.1% 감소
연료의 황함량 제한	Hedley 등[55]	2002	홍콩	인구조사 및 통계청 데이터	발전소 및 도로 차량의 황함량 제한 정책으로 인한 사망률 분석	모든 원인 사망률 2.1%, 호흡기 사망률 3.9%, 심혈관 사망률 2.0% 감소 효과, 여성의 경우 20일, 남성의 경우 41일의 기대수명 개선
대기오염 심한 도로에 대한 우회도로 건설	Burr 등[56]	2004	영국 북 웨일즈	혼잡한 지역 165명, 혼잡하지 않은 지역 283명	우회도로 건설 후 호흡기 질환 조사	PM ₁₀ , PM _{2.5} 농도는 혼잡한 거리에서 높음 비염과 결막염이 우회도로 건설 후 개선됨
기준 미만의 대기질 관리 노력과 모니터링	Laden 등[57]	2006	미국	Harriman, Kingston, Portage, Pardeeville, St. Louis, Steubenville, Topeka, Watertown, and Wyocena 도시의 8,096명	1974-1989년 기간과 추적 기간인 1990-1998년 비교	PM _{2.5} 10 ug/m ³ 감소 시 마다 사망위험 27% 개선
제련소 가동 중지	Pope 등[58]	2007	미국	자료원: 미국 국립보건통계센터 1960-1975년 월별 사망률	구리 제련소 파업	구리제련소의 전체 파업기간 동안 모든 원인 사망률 2.5% 감소
대기질 관리기 준(NAAQS)에 따른 대기 농도 저감 노력	Pope 등[59]	2009	미국	51개 대도시 지역의 211개 카운티	1970년대 후반, 1980년대 초반, 1990년대 후반 및 2000년대 초반의 미세먼지 데이터, 211개 카운티의 기대수명, 사회경제적 인구통계학적 데이터 수집 후 회귀모델로 기대수명 추정	PM _{2.5} 10 ug/m ³ 감소당 기대수명 0.61년 추정 증가
올림픽 기간 중 집중관리	Li 등[60]	2010	중국	Beijing Chaoyang Hospital에 등록된 성인 천식환자 1,475명	올림픽 경기 기간 중 차량제한 시행 및 격일제 운행	천식으로 인한 외래 방문 횟수는 차량 제한 전에 비해 58% 감소

표 6. 계속 1

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
기준 미만의 대기질 관리 노력과 모니터링	Lepeule 등 [61]	2012	미국	Watertown, Kingston, Harriman, St. Louis, Steubenville, Portage, Wyocena, Pardeeville, and Topeka	2001년 이후 대기오염 농도와 사망률과의 관련성 분석	PM _{2.5} 10 ug/m ³ 증가 시 모든 원인 사망 위험 14% 증가, 심혈관 및 폐암 사망률 각각 26%, 37% 증가
올림픽 기간 중 집중관리	Rich 등[62]	2012	중국	125명의 건강한 청년	2008년 베이징 올림픽 기간 전후 대기오염 배출과 건강한 성인의 건강영향 분석	집중 관리 기간 동안 대기오염의 감소는 건강한 젊은 성인의 CRP를 감소시킴
대기질 관리기준(NAAQS)에 따른 대기 농도 저감 노력	Correia 등 [63]	2013	미국	51개 대도시 지역의 545개 카운티	카운티별 연간 평균 PM _{2.5} , 545개 카운티에 대한 데이터 세트 수집 후 회귀모델 수행하여 미세먼지 농도 감소와 기대수명 변화 간의 연관성 추정	PM _{2.5} 10 ug/m ³ 감소당 기대수명 0.35년 증가 연관성은 더 도시적이고 인구밀도가 높은 카운티에서 더 강력한 효과 나타냄
석탄 생산, 판매 및 유통, 가정 내 사용금지	Dockery 등 [64]	2013	아일랜드 더블린	아일랜드 더블린 시민 및 대조군 18개 지역 시민	석탄금지 정책이 시행된 아일랜드 더블린 등 12개 도시와 대조군인 18개 지역에서 정책 전후 호흡기 및 심혈관 입원 및 사망률 비교	중재 지역의 호흡기 사망은 16.8% 감소로 대조군의 2.3% 감소에 비해 더 큰 감소를 보임
올림픽 기간 중 집중관리	Mu 등[65]	2014	중국	201명의 베이징 주민	올림픽 경기 기간 중 차량제한 시행 및 격일제 운행	집중관리 기간 중 최대 호기유량 수준은 관리 전과 후에 비해 높은 수치를 보임
배출량 저감법	Hasunuma 등 [66]	2014	일본	1997-2009년까지 28개 조사지역 3세 아동	배출량 저감법 시행지역 16개와 비시행지역 12개 지역의 어린이 알레르기 질환 유병률 비교	중재지역의 소아천식 유병률 1.1% 감소정책 시행 전에 비해 정책 시행 후 중재 지역의 3세 이하 어린이 호흡기 증상이 17.4% 감소하여 대조지역의 3.5%에 비해 더 큰 감소를 보임

고 찰

본 연구에서는 미세먼지 건강영향 저감을 위한 중재 연구를 검토하였으며, 이를 통해 몇 가지 주요한 시사점을 도출할

수 있었다.

행동 중재 연구는 정보 제공(SMS, 대면 교육 등)을 통해 개인의 인식과 행동 변화를 유도하는 방식이 주를 이루었다. 연구들은 대체로 단기간(1-2개월) 동안 진행되었으며, 기저

표 6. 계속 2

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
올림픽 기간 중 집중관리	Su 등[67]	2015	중국	심혈관질환자	올림픽 경기 기간 중 차량제한 시행 및 격일제 운행	가장 강력한 감소 조치 가 적용된 올림픽 기간 동안 대기오염 물질 농도가 크게 감소하였으며, 초미세먼지 사분위수 범위 증가는 CVD 사망위험을 8.8% 높임, 여성과 노인에게서 더 두드러진 효과를 나타냄
가정 내 청정연료 사용	Schilmann 등 [68]	2015	멕시코	장작사용 지역 6개 커뮤니티 총 668가구 중 중재 그룹 어린이 338명, 대조 그룹 어린이 330명	팻사리 스토브 도입이 어린이 호흡기에 미치는 영향 평가	전통적인 장작사용에 비해 스토브 사용은 상부 및 하부 호흡기 감염이 적었음
주거용 장작 금지정책	Yap과 Garcia [69]	2015	미국	병원 데이터	일산화탄소와 미세먼지 배출 저감을 위한 주거용 장작불 사용 금지 정책 전후 비교	65세 이상에서 심혈관 질환 병원 입원이 정책 시행 후 유의하게 감소, 65세 이하는 관련성 보이지 않음
경유 배출규제 조례 제정	Yorifuji 등 [70]	2016	일본 도쿄	수도권 23개구 시민	일본 도쿄의 배출규제 조례 시행 전 후 사망률 비교	정책 시행 전(2000-2003년)에 비해 정책 시행 후(2009-2012년)에 모든 원인사망률 6.0% 감소, 심혈관질환사망률 11.0% 감소, 허혈성 심장질환 사망률 10% 감소, 뇌혈관질환 사망률 6.2% 감소, 호흡기질환 사망률 22% 감소, 폐암 사망률 4.9% 감소
수도권 대기관리 기본계획에 따른 대기오염 저감 정책	Han 등[71]	2018	한국	서울시, 인천시 및 대전시민	수도권 대기환경관리 기본계획에 따른 대기오염 저감정책 전후 사망률 비교	정책시행 전에 비해 정책 후, 서울은 심혈관 질환 사망률 8.3% 감소, 뇌혈관질환 사망률 9.8% 감소, 인천은 뇌혈관질환 사망률 7.9% 감소, 허혈성심장질환 사망률 6.1% 증가

질환자에서 긍정적인 효과를 보인 경우도 있었으나, 장기적인 효과에 대한 연구는 부족한 실정이다.

공기청정기 중재 연구는 천식 환자 및 취약계층을 대상으로 한 연구가 주를 이루었으며, 연구대상자 수도 적고, 대부분

표 6. 계속 3

중재 방법	연구자	연도	장소	연구 대상	연구 방법	주요 결과
녹지 증가	Lee 등[72]	2018	한국	659명의 임산부 및 6개월 영유아	환경부 대기오염 자료, 환경부 토지피복분류도를 통한 대기오염과 녹지 자료와 ISAAC 설문지를 통한 천식자료 활용	임신 첫 3개월 기간 중 PM ₁₀ 노출이 10 ug/m ³ 증가, NO ₂ 10 ppb 증가 시 영아의 아토피피부염 위험이 각각 1.219배 증가 집 주소 주변의 200 m 이내 녹지면적 증가 시 아토피피부염 위험 감소 (OR, 0.996; 95% CI, 0.993-0.999)
수도권 대기관리 기본계획에 따른 대기오염 저감 정책	Kim 등[73]	2019	한국	서울시, 대전시민	수도권 대기환경관리 기본계획에 따른 대기오염 저감 정책 전후 천식으로 인한 병원 방문	전체 인구 및 0-18세에서 천식으로 인한 병원 방문율이 정책 시행 후 각각 11.3%, 15.5% 감소
9개 오염통제 정책	Abrams 등 [74]	2019	미국 애틀란타	애틀란타 주민	청정대기법으로 인한 9개 오염통제 정책 전후 응급실 방문기록 비교	1990년 청정대기법 개정안으로 인한 오염 통제 정책은 애틀란타 지역주민의 심폐질환으로 인한 응급실 방문을 감소시켰, 호흡기 질환 5.9% 감소, 천식 16.5% 감소, 심혈관질환 2.3% 감소, 울혈성심부전 2.6% 감소함

PM=미세먼지(particulate matter); NAAQS=국가 대기환경 기준(National Ambient Air Quality Standards); CRP=C-반응 단백(C-reactive protein); CVD=심혈관 질환(cardiovascular disease); ISAAC=국제 아동 천식 및 알레르기 연구(International Study of Asthma and Allergies in Childhood); OR=승산비(odds ratio); CI=신뢰구간(confidence interval).

단기적(1-2주) 개입을 통해 공기청정기의 건강영향 저감 효과를 분석하는 연구였다. 일부 연구에서는 후생유전학적 변화나 대사체 분석을 시도하기도 했으나, 장기간의 효과 검증이 부족하며, 대상군이 제한적이라는 한계가 있다.

마스크 중재 연구 또한 소규모(15-40명) 대상으로 단기적(1일-1개월) 개입이 주를 이루었으며, 혈압 및 심박수 변동성(heart rate variability) 등 생리적 지표에 미치는 영향을 평가하였으나, 통계적으로 유의미한 효과가 일관성을 보인 것도 아니었으며 연구 사례도 부족한 실정이다.

약물·식이 중재 연구는 특정 향산화물질이나 불포화지방

산 섭취가 산화적 손상 지표 및 후생유전학적 변화를 유발하는지를 평가하였다. 일부 연구에서는 기저질환자를 대상으로 한 약물 조정이 질병 관리에 미치는 영향을 분석하기도 하였으나, 개별 연구마다 대상군과 연구 설계가 달라 일관된 결론을 도출하기 어려웠다.

정책 중재 연구는 산업·가정·차량 등 다양한 배출원을 대상으로 진행되었으며, 연구 설계 역시 무작위 배정 시험, 사전-사후 비교, 시계열 분석 등 다양했다. 그러나 연구 간 중재 방법과 평가지표가 상이하여 전반적인 효과를 일관되게 분석하는 데 어려움이 있었다. 특히 대부분의 연구가 해외에서 진

행되었다.

그 외에도 부처별로 미세먼지 건강영향을 줄이기 위한 민감계층 찾아가는 케어서비스 등 시범사업 등이 일부 주요한 선례로 파악되었다. 특히 도시 차원에서 수행된 부천의 ‘스마트 미세먼지 클린 특화단지’ 사례나, 방문간호 사업을 기반으로 수행된 찾아가는 서비스 등은 기존 미세먼지 중재 연구들과 지역사회 보건 서비스 사이 접점이라 볼 수 있는 주요한 사례로 시사하는 바가 크다. 정부 및 지방자치단체(지자체) 차원에서 다양한 미세먼지 중재 연구 과제들이 진행되고 있으나, 실제 지역사회 내에서 지속성을 가지고 국민들이 체감할 수 있는 중재는 부재한 상황이다.

해외 사례들을 살펴보면 특히 유럽 및 북미를 중심으로 한 서구지역과 중국에서는 미세먼지가 건강에 미치는 영향을 확인하기 위해 미세먼지의 민감 취약계층인 호흡기질환자, 심혈관질환자, 고령자, 어린이, 직업적 고노출군을 대상으로 진행한 연구뿐만 아니라, 건강피해 저감을 위한 여러 가지 중재 방법에 대한 효과를 검증하기 위한 연구도 진행되고 있다. 게다가 지역기반 미세먼지 정책지원 프로그램인 CARE 프로그램이나, 기존 응급지원시스템에 대기질 알림 서비스를 결합하는 뉴욕시의 사례, 산불 등과 같은 재난 수준의 미세먼지 노출 시 노숙자 보호소를 마련하는 등 미세먼지 건강영향 대응 중재의 연구 차원과 지자체 제공 서비스 수준 사이의 간극을 줄이기 위한 미세먼지 지역사회 중재 서비스 등이 운영되고 있다.

물론 국내의 미세먼지 연구는 해외에 크게 뒤처지는 수준은 아니나, 실제 지역사회 내의 보건소, 보건지소 또는 정부 지원 기관 등의 서비스 제공 기관과 지자체 복지서비스가 연계되어 미세먼지로 인한 건강영향을 완화하기 위한 중재 서비스를 통합적으로 제공할 수 있는 총체적 서비스 모델의 기획 및 구현이 여전히 필요한 실정이다. 과거 실험실적인 연구들이 임상 현장에 적용하는 데 간극을 줄이기 위한 중개연구(bench-to-bedside)와 같이 미세먼지 중재 연구 역시 연구 현

장에서 지역사회 현장으로 들어가기 위한 노력들이 지속적으로 이루어져야 한다.

지역의 환경 보건문제는 지역마다 지리적, 환경적, 사회경제적, 인구학적 특성이 다르기에 환경 유해인자의 특성, 배출 양상 및 환경유해인자로 인한 건강영향도 다를 것이다. 이러한 정보는 지역 내에서 가장 잘 파악할 수 있기에 자체적으로 시행되고 있는 관리체계가 통합적으로 작동할 수 있도록 해야 한다.

미세먼지 건강피해로부터 건강을 보호하는 것이 목적인 사업은 보건부문 중심으로 추진하되 부분적으로 타부문과 민간자원을 연계하는 방안을 고려해야 한다. 특히 사업의 지속가능성을 위해서는 기존 수행되고 있는 보건부문의 사업과 연계성을 반드시 고려하여야 한다. 대표적인 예로 지역사회 통합건강증진사업의 하나로 운영되고 있는 방문건강관리사업은 보건소에서 관할하고 있는 전통적인 사업으로서 사업 대상, 인력, 내용 측면에서 본 사업과 연계하는 것이 효율적일 수 있다.

또한 미세먼지의 건강영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구나 해당 정보가 주로 정부 웹사이트에 게재가 되어 있어 타겟 집단이 직접 관심을 갖고 사이트를 방문하지 않고서는 정보를 얻기가 쉽지 않다. 지역 주민, 각 담당부서 및 전문가와의 소통을 통해 연계 및 참여(connected & participatory)의 개념이 적용된 중재 서비스를 기획하고, 이를 운영할 수 있는 기틀 마련이 시급해 보인다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This study was supported by grants from the Research of Korea Centers for Disease Control and Prevention (No. 2024-ER0911-00).

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: DWL, HCK. Data curation: SBK, DWL. Formal analysis: SBK, DWL. Funding acquisition: HCK. Investigation: SBK, DWL. Methodology: DWL. Project administration: HCK. Supervision: HCK. Writing—original draft: SBK, DWL. Writing—review & editing: SBK, DWL, SMC, WJK, MHL, JHL, MSP, HCK.

References

- Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol* 2013;14:1262–3.
- Jo HJ, Park SW, Lee HI, Lee SW. Health effects caused by particulate matter and guidelines for health care. *Public Health Wkly Rep* 2018;11:458–62.
- Smart fine dust-free specialized zone development project [Internet]. Bucheon city [cited 2024 Mar 1]. Available from: <https://airbucheon.or.kr/smartbsns/viewSmartUlf-ptcBsnsInfo.do>
- World Health Organization (WHO). Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. WHO; 2024 [cited 2024 Mar 1]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- McCarron A, Semple S, Swanson V, Gillespie C, Braban C, Price HD. Piloting co-developed behaviour change interventions to reduce exposure to air pollution and improve self-reported asthma-related health. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2025;35:242–53.
- Supervia M, Bomtempo APD, Gómez E, Bonikowske AR, Arroyo-Riaño MO, Ghisi GLM. Enhancing cardiovascular patients' knowledge of air pollution: a pilot study evaluating the impact of an educational intervention in cardiac rehabilitation. *Front Rehabil Sci* 2024;5:1495621.
- Kang J, Kim HC, Jang Y, et al. Randomised controlled trial of a behavioural intervention to reduce exposure to PM_{2.5} in patients with COPD. *Environ Int* 2023;181:108286.
- Rosser FJ, Rothenberger SD, Han YY, Forno E, Celedón JC. Air quality index and childhood asthma: a pilot randomized clinical trial intervention. *Am J Prev Med* 2023;64:893–7.
- Kumar P, Hama S, Nogueira T, et al. In-car particulate matter exposure across ten global cities. *Sci Total Environ* 2021;750:141395.
- Liu L, Urch B, Nanthakumar K, et al. Air pollution, physical activity, and cardiovascular function of patients with implanted cardioverter defibrillators: a randomized controlled trial of indoor versus outdoor activity. *J Occup Environ Med* 2020;62:263–71.
- Guo SE, Chi MC, Hwang SL, Lin CM, Lin YC. Effects of particulate matter education on self-care knowledge regarding air pollution, symptom changes, and indoor air quality among patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:4103.
- Hovell MF, Belletiere J, Liles S, et al. Randomised controlled trial of real-time feedback and brief coaching to reduce indoor smoking. *Tob Control* 2020;29:183–90.
- Giles LV, Tebbutt SJ, Carlsten C, Koehle MS. Effects of low-intensity and high-intensity cycling with diesel exhaust exposure on soluble P-selectin, E-selectin, ICAM-1, VCAM-1 and complete blood count. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2019;5:e000625.
- Mehiriz K, Gosselin P. Evaluation of the impacts of a phone warning and advising system for individuals vulnerable to smog. Evidence from a randomized controlled trial study in Canada. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:1817.
- Jasemzadeh M, Khafaie MA, Jaafarzadeh N, Araban M. Effectiveness of a theory-based mobile phone text message intervention for improving protective behaviors of pregnant women against air pollution: a randomized controlled trial. *Environ Sci Pollut Res Int* 2018;25:6648–55.
- Araban M, Tavafian SS, Zarandi SM, Hidarnia AR, Burri A, Montazeri A. A behavioral strategy to minimize air pollution exposure in pregnant women: a randomized controlled trial. *Environ Health Prev Med* 2017;22:26.
- Xia X, Chan KH, Kwok T, Wu S, Man CL, Ho KF. Effects of long-term indoor air purification intervention on cardiovascular health in elderly: a parallel, double-blinded randomized controlled trial in Hong Kong. *Environ Res* 2024;247:118284.
- Liu Z, Wang Q, Li N, et al. Cardiovascular benefits of air purifier in patients with stable coronary artery disease: a randomized single-blind crossover study. *Front Public*

- Health 2023;10:1082327.
19. Wei Q, Ji Y, Gao H, et al. Oxidative stress-mediated particulate matter affects the risk of relapse in schizophrenia patients: air purification intervention-based panel study. *Environ Pollut* 2022;292(Pt B):118348.
 20. Barkjohn KK, Norris C, Cui X, et al. Real-time measurements of PM_{2.5} and ozone to assess the effectiveness of residential indoor air filtration in Shanghai homes. *Indoor Air* 2021;31:74-87.
 21. Liu W, Huang J, Lin Y, et al. Negative ions offset cardiorespiratory benefits of PM_{2.5} reduction from residential use of negative ion air purifiers. *Indoor Air* 2021;31:220-8.
 22. Bard RL, Rubenfire M, Fink S, et al. Reduced fine particulate matter air pollution exposures using in-home portable air cleaners: pilot results of the cardiac rehabilitation air filter trial (craft). *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2020;40:276-9.
 23. Kim S, Lee J, Park S, et al. Association between peak expiratory flow rate and exposure level to indoor PM_{2.5} in asthmatic children, using data from the escort intervention study. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:7667.
 24. Cui X, Li Z, Teng Y, et al. Association between bedroom particulate matter filtration and changes in airway pathophysiology in children with asthma. *JAMA Pediatr* 2020;174:533-42.
 25. Chen C, Li H, Niu Y, et al. Impact of short-term exposure to fine particulate matter air pollution on urinary metabolome: a randomized, double-blind, crossover trial. *Environ Int* 2019;130:104878.
 26. Dong W, Liu S, Chu M, et al. Different cardiorespiratory effects of indoor air pollution intervention with ionization air purifier: findings from a randomized, double-blind crossover study among school children in Beijing. *Environ Pollut* 2019;254(Pt B):113054.
 27. Gao X, Xu Y, Cai Y, et al. Effects of filtered fresh air ventilation on classroom indoor air and biomarkers in saliva and nasal samples: a randomized crossover intervention study in preschool children. *Environ Res* 2019;179(Pt A):108749.
 28. Barn P, Gombojav E, Ochir C, et al. The effect of portable HEPA filter air cleaner use during pregnancy on fetal growth: the UGAAR randomized controlled trial. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):981-9.
 29. Morishita M, Adar SD, D'Souza J, et al. Effect of portable air filtration systems on personal exposure to fine particulate matter and blood pressure among residents in a low-income senior facility: a randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 2018;178:1350-7.
 30. Liu S, Chen J, Zhao Q, et al. Cardiovascular benefits of short-term indoor air filtration intervention in elderly living in Beijing: an extended analysis of BIAPSY study. *Environ Res* 2018;167:632-8.
 31. Li H, Chen R, Cai J, Cui X, Huang N, Kan H. Short-term exposure to fine particulate air pollution and genome-wide DNA methylation: a randomized, double-blind, crossover trial. *Environ Int* 2018;120:130-6.
 32. Cohen G, Levy I, Yuval, et al. Chronic exposure to traffic-related air pollution and cancer incidence among 10,000 patients undergoing percutaneous coronary interventions: a historical prospective study. *Eur J Prev Cardiol* 2018;25:659-70.
 33. Li H, Cai J, Chen R, et al. Particulate matter exposure and stress hormone levels: a randomized, double-blind, crossover trial of air purification. *Circulation* 2017;136:618-27.
 34. Noonan CW, Semmens EO, Smith P, et al. Randomized trial of interventions to improve childhood asthma in homes with wood-burning stoves. *Environ Health Perspect* 2017;125:097010.
 35. Shao D, Du Y, Liu S, et al. Cardiorespiratory responses of air filtration: a randomized crossover intervention trial in seniors living in Beijing: Beijing indoor air purifier study, BIAPSY. *Sci Total Environ* 2017;603-604:541-9.
 36. Chuang HC, Ho KF, Lin LY, et al. Long-term indoor air conditioner filtration and cardiovascular health: a randomized crossover intervention study. *Environ Int* 2017;106:91-6.
 37. Jhun I, Gaffin JM, Coull BA, et al. School environmental intervention to reduce particulate pollutant exposures for children with asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2017;5:154-9.e3.
 38. Chen R, Meng X, Zhao A, et al. DNA hypomethylation and its mediation in the effects of fine particulate air pollution on cardiovascular biomarkers: a randomized crossover trial. *Environ Int* 2016;94:614-9.
 39. Lim YH, Kim W, Choi Y, et al. Effects of particulate respirator use on cardiopulmonary function in elderly women: a quasi-experimental study. *J Korean Med Sci* 2020;35:e64.
 40. Zhang Y, Chu M, Zhang J, et al. Urine metabolites associated with cardiovascular effects from exposure of size-fractionated particulate matter in a subway environment: a randomized crossover study. *Environ Int*

- 2019;130:104920.
41. Guan T, Hu S, Han Y, et al. The effects of facemasks on airway inflammation and endothelial dysfunction in healthy young adults: a double-blind, randomized, controlled crossover study. *Part Fibre Toxicol* 2018;15:30.
42. Yang X, Jia X, Dong W, et al. Cardiovascular benefits of reducing personal exposure to traffic-related noise and particulate air pollution: a randomized crossover study in the Beijing subway system. *Indoor Air* 2018. [Epub] <https://doi.org/10.1111/ina.12485>
43. Shi J, Lin Z, Chen R, et al. Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial. *Environ Health Perspect* 2017;125:175-80.
44. Yang X, Huang J, Hu Y, et al. The rescue intervention strategy for asthma patients under severe air pollution: a single-center prospective randomized controlled trial. *J Asthma* 2022;59:1712-21.
45. Barkhordari S, Mirmosayyeb O, Mansourian M, et al. Omega 3 supplementation can regulate inflammatory states in gas station workers: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *J Interferon Cytokine Res* 2020;40:262-7.
46. Lin Z, Niu Y, Jiang Y, et al. Protective effects of dietary fish-oil supplementation on skin inflammatory and oxidative stress biomarkers induced by fine particulate air pollution: a pilot randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Br J Dermatol* 2021;184:261-9.
47. Wu Y, Pei C, Wang X, et al. Effect of probiotics on nasal and intestinal microbiota in people with high exposure to particulate matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$): a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical study. *Trials* 2020;21:850.
48. Bose S, Diette GB, Woo H, et al. Vitamin D status modifies the response to indoor particulate matter in obese urban children with asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2019;7:1815-22.e2.
49. Lin Z, Chen R, Jiang Y, et al. Cardiovascular benefits of fish-oil supplementation against fine particulate air pollution in China. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:2076-85.
50. Wooding DJ, Ryu MH, Hüls A, et al. Particle depletion does not remediate acute effects of traffic-related air pollution and allergen. A randomized, double-blind crossover study. *Am J Respir Crit Care Med* 2019;200:565-74.
51. Zhong J, Trevisi L, Urch B, et al. B-vitamin supplementation mitigates effects of fine particles on cardiac autonomic dysfunction and inflammation: a pilot human intervention trial. *Sci Rep* 2017;7:45322.
52. Zhong J, Karlsson O, Wang G, et al. B vitamins attenuate the epigenetic effects of ambient fine particles in a pilot human intervention trial. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2017;114:3503-8.
53. Pope CA 3rd. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *Am J Public Health* 1989;79:623-8.
54. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA* 2001;285:897-905.
55. Hedley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet* 2002;360:1646-52.
56. Burr ML, Karani G, Davies B, Holmes BA, Williams KL. Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions. *Occup Environ Med* 2004;61:212-8.
57. Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:667-72.
58. Pope CA 3rd, Rodermund DL, Gee MM. Mortality effects of a copper smelter strike and reduced ambient sulfate particulate matter air pollution. *Environ Health Perspect* 2007;115:679-83.
59. Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med* 2009;360:376-86.
60. Li Y, Wang W, Kan H, Xu X, Chen B. Air quality and outpatient visits for asthma in adults during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *Sci Total Environ* 2010;408:1226-7.
61. Lepeule J, Laden F, Dockery D, Schwartz J. Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ Health Perspect* 2012;120:965-70.
62. Rich DQ, Kipen HM, Huang W, et al. Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults. *JAMA* 2012;307:2068-78.
63. Correia AW, Pope CA 3rd, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. Effect of air pollution control on life

- expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007. *Epidemiology* 2013;24:23-31.
64. Dockery DW, Rich DQ, Goodman PG, et al. Effect of air pollution control on mortality and hospital admissions in Ireland. *Res Rep Health Eff Inst* 2013;176:3-109.
65. Mu L, Deng F, Tian L, et al. Peak expiratory flow, breath rate and blood pressure in adults with changes in particulate matter air pollution during the Beijing Olympics: a panel study. *Environ Res* 2014;133:4-11.
66. Hasunuma H, Ishimaru Y, Yoda Y, Shima M. Decline of ambient air pollution levels due to measures to control automobile emissions and effects on the prevalence of respiratory and allergic disorders among children in Japan. *Environ Res* 2014;131:111-8.
67. Su C, Hampel R, Franck U, et al. Assessing responses of cardiovascular mortality to particulate matter air pollution for pre-, during- and post-2008 Olympics periods. *Environ Res* 2015;142:112-22.
68. Schilmann A, Riojas-Rodríguez H, Ramírez-Sedeño K, Berrueta VM, Pérez-Padilla R, Romieu I. Children's respiratory health after an efficient biomass stove (patsari) intervention. *Ecohealth* 2015;12:68-76.
69. Yap PS, Garcia C. Effectiveness of residential wood-burning regulation on decreasing particulate matter levels and hospitalizations in the San Joaquin Valley Air Basin. *Am J Public Health* 2015;105:772-8.
70. Yorifuji T, Kashima S, Doi H. Fine-particulate air pollution from diesel emission control and mortality rates in Tokyo: a quasi-experimental study. *Epidemiology* 2016;27:769-78.
71. Han C, Lim YH, Yorifuji T, Hong YC. Air quality management policy and reduced mortality rates in Seoul Metropolitan Area: a quasi-experimental study. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):600-9.
72. Lee JY, Lamichhane DK, Lee M, et al. Preventive effect of residential green space on infantile atopic dermatitis associated with prenatal air pollution exposure. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15:102.
73. Kim H, Kim H, Lee JT. Effect of air pollutant emission reduction policies on hospital visits for asthma in Seoul, Korea: quasi-experimental study. *Environ Int* 2019;132:104954.
74. Abrams JY, Klein M, Henneman LRF, et al. Impact of air pollution control policies on cardiorespiratory emergency department visits, Atlanta, GA, 1999-2013. *Environ Int* 2019;126:627-34.

Review & Perspective

Mitigating the Health Effects of Particulate Matter: A Narrative Review of Intervention Studies

Saebyeol Kwon¹ , Dong-Wook Lee² , Su Mi Chae³ , Woojin Kim⁴ , Myung Ho Lim⁵ , Ji Ho Lee⁶ , Myung Sook Park⁷ ,
Hwan-Cheol Kim^{2*} 

¹Institute of Medical Science, Inha University, Incheon, Korea, ²Department of Occupational and Environmental Medicine, Inha University Hospital, Incheon, Korea, ³Department of Healthcare Policy Research, Korea Institute for Health and Social Affairs, Sejong, Korea, ⁴Division of Pulmonology, Department of Internal Medicine, College of Medicine, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, ⁵Department of Psychotherapy, College of Public Health and Science, Dankook University, Cheonan, Korea, ⁶Department of Occupational and Environmental Medicine, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea, ⁷Institute of Environmental Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Objectives: Particulate matter (PM) is one of the most important air pollutants having harmful health effects. Recently, studies on intervention for mitigating these impacts of PM have been conducted increasingly. This narrative review aims to describe the trends in domestic and international interventions targeting the health effects of PM.

Methods: A narrative literature review was conducted. Articles published between 1989 and 2024 were retrieved from various academic databases.

Results: Seventy interventional studies were included, and were categorized into five types: behavioral (n=12), air purifier (n=22), mask (n=5), pharmaceutical and dietary (n=9), and social policy-related (n=22) interventions. Behavioral, air purifier, and mask-wearing interventions improved physiological and symptomatic indicators related to PM exposure. Pharmacological and dietary interventions substantially reduced the effects of PM, although the study designs imposed limitations. Social-policy related interventions reduced population-level health outcomes such as mortality and hospital admissions. Most of these studies were short-term with small samples. These findings highlight the need for sustainable and comprehensive intervention strategies, especially those linked to local public health services.

Conclusions: Interventions for mitigating the health effects of fine PM are effective in reducing adverse health outcomes. The sustainability of such interventions must be ensured, and these strategies must be linked with policy measures for tangibly reducing the health burden caused by air pollution among the general population.

Key words: Particulate matter; Clinical trial; Health status; Review literature as topic

*Corresponding author: Hwan-Cheol Kim, Tel: +82-32-890-3216, E-mail: carpediem@inha.ac.kr

Key messages

① What is known previously?

The health risks of particulate matter (PM) are well-established, and various short-term intervention methods have been studied.

② What new information is presented?

PM intervention studies were categorized into behavioral, air purifier, mask-wearing, and social policy-related interventions with most studies being small-scale that assessed short-term effects.

③ What are implications?

PM interventions must be translated from research and focus on sustainable, integrated approaches at the community level that produce tangible and effective results.

Introduction

Particulate matter (PM), also known as ‘fine dust’, is a representative air pollutant that adversely affects both human health and the environment. It is classified by particle diameter, primarily into PM₁₀ (PM in an aerodynamic diameter less than 10 µm) and PM_{2.5} (PM in an aerodynamic diameter less than 2.5 µm). The World Health Organization has issued air quality guidelines for PM since 1987, and in 2013, its International Agency for Research on Cancer classified PM as a Group 1 carcinogen [1].

The health effects of PM can be divided into short-term and long-term effects. Short-term effects (within 1–2 weeks) include increased mortality as well as cardiovascular and respiratory health impacts. Long-term effects resulting from prolonged exposure (several weeks to years) are associated with increased mortality—particularly from cardiovascular diseases—as well as the development of lung cancer, asthma, and chronic

obstructive pulmonary disease. Adverse effects on reproduction and development, such as low birth weight and preterm birth, have also been observed in pregnant women [2].

Major sources of PM include vehicle emissions, industrial and thermal power generation, fugitive dust, and overseas inflow. Efforts have been made to control these sources to minimize exposure. Public health studies have also evaluated the use of protective masks and air purifiers as measures to reduce individual exposure, with several studies supporting their effectiveness.

In this context, a range of studies and policy initiatives have been implemented both domestically and internationally to mitigate PM levels. In 2019, the city of Bucheon operated a living lab as part of its smart city initiative, the “Smart Particulate Matter Clean Zone.” The project monitored PM concentrations and reduction devices and provided residents with real-time information, thereby laying the foundation for behavioral interventions in areas such as school routes, industrial zones, and transit hubs [3]. In addition, the United States Environmental Protection Agency has operated the Community Action for a Renewed Environment (CARE) program since 2005. This program was developed to strengthen national regulatory strategies by addressing community-specific environmental issues. It helps communities identify sources of pollution, prioritize key health concerns, improve environmental quality, and reduce exposure to hazards to protect public health [4].

The present study aimed to provide a comprehensive review of domestic and international research trends on interventions designed to reduce the health effects of PM. It also analyzes the limitations of existing research and offers future directions for research and policy, with the ultimate goal of

identifying effective PM response strategies and contributing to the development of practical health protection measures.

Methods

A literature review was conducted using the PICO (patient/population, intervention, comparison, and outcome) framework to identify trends in intervention studies related to PM. The population (P) was defined as human participants, and the intervention (I) included various strategies aimed at mitigating the health effects of PM. The comparison (C) group consisted of individuals who were not exposed to these interventions. The outcome (O) was assessed using tools that measured health

indicators such as surveys, clinical metrics, and healthcare utilization statistics. Studies published between 1989 and 2024 were searched in databases including PubMed, MEDLINE, Embase, the Cochrane Library, and Google Scholar using the keywords “air pollution,” “particulate matter,” “trial or(and) intervention,” and “randomized.” Inclusion criteria were limited to accessible original journal articles published in English that were relevant to the research question. Exclusion criteria included review articles, conference presentations, abstracts, reports, and studies on indoor air pollution caused by cooking practices in developing countries. Two authors independently conducted the literature review, and their findings were compared for consistency. The final selection of studies, focusing

Table 1. Description of studies by year, country, and intervention method

	Characteristics	n=70	100 (%)
Year	1980–2000	1	1.4
	2001–2010	7	10.0
	2011–2015	9	12.9
	2016–2020	41	58.6
	2021–2024	12	17.1
Country	China	25	35.7
	United States	18	25.7
	Republic of Korea	6	8.6
	Canada	5	7.1
	Iran	3	4.3
	Hong Kong	2	2.9
	Japan	2	2.9
	United Kingdom	2	2.9
	Taiwan	2	2.9
	Ireland	1	1.4
	Spain	1	1.4
	Mongolia	1	1.4
	Mexico	1	1.4
	Multinational study	1	1.4
Intervention method	Educational/behavioral intervention	12	17.1
	Air purification intervention	22	31.4
	Mask intervention	5	7.1
	Dietary/pharmacological intervention	9	12.9
	Policy intervention	22	31.4

Table 2. Educational and behavioral intervention studies

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Behavioral intervention	McCarron et al. [5]	2025	United Kingdom	28 patients with asthma (intervention, n=9; control, n=8)	Randomized assignment with 1-week monitoring	The mean PM concentration decreased by 4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the control group (range: -15.6 to 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); the percentage of time with the reported asthma symptoms decreased by 4.6% in the intervention group compared to a 0.5% increase in the control group
Educational intervention	Supervia et al. [6]	2024	Madrid, Spain	43 patients with CVD	Pilot study with in-person or online education	Increased awareness of air pollution: familiarity with the AQI increased from 61% to 81%; understanding of $\text{PM}_{2.5}$ improved from 28% to 58%; potential for improved cardiovascular health
Behavioral intervention	Kang et al. [7]	2023	Republic of Korea	102 patients with COPD	1:1 randomized behavioral intervention The intervention included the following: 1) Checking and regularly replacing indoor air filters, 2) Regularly checking air quality forecasts, 3) Ensuring regular ventilation by opening windows, 4) Avoiding outdoor activities on high-pollution days, and 5) Adhering to inhaler therapy	Significant improvements in SGRQ-C and CAT scores
Information provision and behavior modification	Rosser et al. [8]	2023	Pittsburgh, PA, USA	40 children with asthma	Pilot study; all participants received education on an asthma action plan and the AQI. The intervention group received printed AQI information and guidance on using the AirNow application	Incorporating the AQI into asthma action plans improved asthma control (as measured by the Asthma Control Test), but it was also associated with reduced outdoor activity
In-vehicle ventilation	Kumar et al. [9]	2021	10 cities worldwide		For each setting, 3–10 drives were conducted, with 3 drives performed daily in each city. The settings were as follows: 1) Open-window ventilation, 2) mechanical ventilation (fresh air intake), and 3) air recirculation	$\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} concentrations: air recirculation < mechanical ventilation (fresh air intake) < open-window ventilation

Table 2. Continued 1

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Outdoor physical activity	Liu et al. [10]	2020	Toronto, ON, Canada	Patients with an ICD	In 18 patients with an ICD, BP, pulse rate, and oxygen saturation were measured after 30 minutes of indoor and outdoor walks on days with predicted high PM levels; the results were compared to a control group	Air pollution was significantly associated with increased BP, increased pulse rate, and lower oxygen saturation Reducing PM exposure may decrease cardiovascular adverse events in this patient population, while daily light exercise may benefit cardiovascular function
Education	Guo et al. [11]	2020	Taiwan	63 patients with COPD	Comparison between an educated group (n=25) and an uneducated group	Improvement was observed in some symptoms
Warning alerts	Hovell et al. [12]	2020	San Diego, CA, USA	General population	298 families, each with a smoker and a child aged ≤ 14 years, were randomly assigned to intervention or control groups to compare particle events and indoor air nicotine concentrations	Real-time alerts were effective in reducing PM generated by human activities, including secondhand smoke
Exercise intensity	Giles et al. [13]	2019	Canada	18 adult male individuals	Testing was performed under six conditions: rest, low-intensity (30% of VO ₂ peak), and high-intensity (60% of VO ₂ peak) exercise, each with exposure to either filtered air or 300 µg/m ³ of PM _{2.5}	High-intensity exercise did not appear to increase adhesion molecules or systemic inflammatory markers
SMS	Mehiriz and Gosselin [14]	2019	Canada	Recruitment of 1,328 Canadian adults (intervention, n=268; control, n=251)	The participants were grouped according to their APWS usage and surveyed by telephone three times	APWS users spent more time indoors with windows closed when a smog alert was issued
Alert and educational SMS	Jasemzadeh et al. [15]	2018	Iran	130 pregnant women at 12–20 weeks of gestational age	Random allocation (intervention, n=65; control, n=65) An intervention consisting of daily text messages for 2 months Development of 36 text messages using the extended parallel process model	The text message intervention was effective in increasing maternal awareness of the problem and promoting behavioral change

Table 2. Continued 2

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Education (interviews, booklets, SMS)	Araban et al. [16]	2017	Iran	104 pregnant women (intervention, n=53; control, n=51)	Randomized controlled trial featuring a one-hour motivational interview on preventive measures for air pollution health effects, daily SMS for 1 month, and provision of an educational booklet on air pollution	Significant differences were observed between the intervention and control groups in stages of change, problem awareness, self-efficacy, perceived benefits of change, and actual behavioral changes

PM=particulate matter; CVD=cardiovascular disease; AQI=air quality index; COPD=chronic obstructive pulmonary disease; SGRQ-C=St. George's respiratory questionnaire for COPD; CAT=COPD assessment test; ICD=implanted cardioverter defibrillator; BP=blood pressure; SMS=short message service; APWS=automated phone smog warning system.

on research addressing the health effects of PM, was verified by an additional reviewer.

Results

A total of 70 studies were selected and classified into five categories of interventions: behavioral (n=12), air purifiers (n=22), masks (n=5), pharmacological and dietary (n=9), and policy (n=22). Excluding one multicity consortium study conducted across 10 different cities worldwide, China accounted for the largest number of studies (n=25), followed by the United States (n=18), Republic of Korea (ROK) (n=6), Canada (n=5), Iran (n=3), Taiwan (n=2), the United Kingdom (n=2), Japan (n=2), Hong Kong (n=2), Mexico (n=1), Mongolia (n=1), Spain (n=1), and Ireland (n=1) (Table 1).

1. Behavioral Interventions

This category includes 12 studies that either educated participants on how to respond to the health effects of PM or encouraged behavioral change through short message service (SMS) alerts or other notification systems (Table 2). The

majority of the studies involved between 100 and 500 participants, with interventions lasting 1 to 2 months, followed by an evaluation of health outcomes. Some studies used SMS to provide information about PM levels and prevention guidelines, assessing changes in awareness or symptom improvement among individuals with pre-existing health conditions. Other studies examined the relationship between physical activity and pollution exposure by evaluating the effects of exercise under high PM levels using biomarkers. Several studies also implemented in-person educational programs to assess changes in participants' awareness, attitudes, and behaviors toward PM after the intervention [5-16].

2. Air Purifier Intervention

A total of 22 studies investigated the use of air purifiers to mitigate the health effects of PM (Table 3). Among these studies, only one had a sample size of more than 200 participants, while the remaining studies included smaller sample sizes ranging from 35 to 80 participants. In most studies, the use of air purifiers significantly reduced indoor PM_{2.5} levels—by approximately 30–60%—and also decreased black carbon

Table 3. Air purifier intervention studies

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Air purifier	Xia et al. [17]	2024	Hong Kong	47 individuals aged $\geq$ 70 years (intervention, n=23; control, n=24)	The participants were randomly assigned to an active or a sham air purification group, with measurement of PM concentrations	In the active purification group, PM _{2.5} concentration decreased by 28% and remained at a lower level for one year. After 12 months, the active group showed a significant decrease in DBP, along with a non-significant trend of decreased SBP
Air purifier	Liu et al. [18]	2023	China	80 patients with SCAD	Single-blind, randomized crossover study analyzing the association between PM _{2.5} reduction via air purification and cardiovascular outcomes. The study measured PM _{2.5} levels and cardiovascular markers (inflammation, coagulation, plaque stability, blood lipids) and collected medication data through surveys to control for confounding effects	Concurrent use of air purifiers and medication had significant effects on reducing CRP and increasing HDL-C in patients with SCAD, suggesting an effective health protection strategy in high-PM _{2.5} environments
Air purifier	Wei et al. [19]	2022	China	Patients with schizophrenia	Investigation into the association between decreased total antioxidant capacity (an oxidative stress marker) and the risk of schizophrenia relapse	Suggests that air purification to reduce PM exposure may contribute to a lower risk of relapse and improved oxidative stress markers in patients with schizophrenia
Air purifier	Barkjohn et al. [20]	2021	Shanghai, China	43 children	Two-week crossover intervention applying HEPA and sham filters in a randomized order	PM _{2.5} levels reduced from 40 to 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

concentrations. However, the health effects reported were inconsistent across studies. The studies were conducted not only among healthy adults but also among vulnerable populations such as individuals with asthma and pregnant women. Most interventions were implemented over a short duration of 1

to 2 weeks, leaving the long-term effects uncertain. Several studies reported positive outcomes related to cardiovascular health, respiratory symptoms, and oxidative stress biomarkers. Nonetheless, variations in study populations, intervention durations, and health indicators across the studies limit the

Table 3. Continued 1

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Anion generator	Liu et al. [21]	2021	Shanghai, China	56 university students	One-week crossover intervention applying active and sham devices in a randomized order	The intervention effect was not significant A positive association was observed between the measured PM _{2.5} /anion levels and urinary malondialdehyde PM _{2.5} levels reduced from 30 to 8 µg/m ³ Anion concentration increased from 53 to 60,591/cm ³
Air purifier	Bard et al. [22]	2020	Michigan, USA	20 older adult patients with heart disease	Five-day crossover intervention applying HEPA and sham filters in a randomized order	Personal PM _{2.5} monitoring A 43.8% reduction was observed during device application
Air purifier	Kim et al. [23]	2020	Incheon, Republic of Korea	13 children with asthma and 13 controls	7-week crossover intervention	In children with asthma, a 1 µg/m ³ decrease in indoor PM _{2.5} was associated with a 1.2% point decrease in PEF 43% reduction in PM _{2.5}
Air purifier	Cui et al. [24]	2020	Shanghai, China	43 pediatric patients with asthma	Two-week crossover intervention applying HEPA and sham filters in a randomized order	Improvement in airway mechanics as measured by impulse oscillometry Indoor PM _{2.5} levels were reduced from 30 to 10 µg/m ³
Air purifier	Chen et al. [25]	2019	Shanghai, China	45 young adults	9 days of purification vs. sham, followed by a 12-day washout period (KJEA200E; 3M Filtrete) Analysis of differences in urinary metabolites using LC-MS	Identified differences in over 40 urinary metabolites related to energy metabolism, oxidative damage, and inflammation The finding suggests that PM _{2.5} induces changes in energy metabolism, causing oxidative damage and inflammation Ambient PM _{2.5} : 101.4 µg/m ³ ; sham period: 46.5 µg/m ³ ; HEPA period: 11.1 µg/m ³

Table 3. Continued 2

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Anion generator	Dong et al. [26]	2019	Beijing, China	44 children	Five-week crossover intervention applying active and sham devices in a randomized order	The use of air purifiers confirmed a reduction in PM concentration; a statistically significant increase in FEV1 and a decrease in FeNO were also observed 34% reduction in PM _{2.5} , 50% reduction in BC Anion concentration increased from 12 to 12,997/cm ³
Air purifier	Gao et al. [27]	2019	Shanghai, China	43 kindergarten children	Two-day crossover intervention applying HEPA and sham filters in two classrooms	Increased salivary lysozyme was observed during device application. No significant difference was found in the diversity of nasal bacterial taxa PM _{2.5} levels were reduced from 85.7 to 29.1 µg/m ³
Air purifier	Barn et al. [28]	2018	Mongolia	Pregnant women in Mongolian apartments (intervention, n=223; control, n=240)	An intervention group with HEPA filter air purifiers was compared to a control group with no device to observe differences in birth weight	Birth weight was reportedly 85 g lower in the intervention group than in the control group
Air purifier	Morishita et al. [29]	2018	Detroit, MI, USA	40 low-income older adults in an urban area	Unfiltered air versus air purifier installation (low- and high-efficiency) 3-way crossover intervention study Morning BP measurements for 3 consecutive days	The use of air purifiers was associated with a reduction in SBP (3.4 mmHg) and DBP (2.2 mmHg)
Air purifier	Liu et al. [30]	2018	Beijing, China	35 adults in Beijing (20 households)	2 weeks: active filtration 2 weeks: sham filtration (without filter)	Associations of PM _{2.5} and BC with SBP and SDNN were observed, but no statistically significant difference was found based on air purifier use Use of air purifiers reduced indoor PM _{2.5} by 34.8% and BC by 35.3%

Table 3. Continued 3

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Air purifier	Li et al. [31]	2018	Shanghai, China	36 healthy adults	9 days each: active or sham filtration, followed by a 12-day washout period and then crossover	Significant methylation differences were found in 31 gene-related CpG loci (49 CpG sites) at a false discovery rate of <0.01.
Air purifier	Cohen et al. [32]	2018	USA	23 low-income households	Measurements at baseline, at filter type change (3 weeks), and at study end (6 weeks) hsCRP, IL-6, and TNFRII in blood samples	HEPA filtration was effective in reducing PNC by 50–85% but showed no association with inflammatory markers
Air purifier	Li et al. [33]	2017	Shanghai, China	55 healthy university students	Measurement of serum metabolomics and other markers after a 3-day (Friday–Sunday) air purifier application Model: KJEA200E (3M Filtrete) Crossover after a 12-day washout period	Significant positive correlations were found between PM and cortisol, cortisone, epinephrine, and norepinephrine Additionally, air purifiers significantly reduced stress hormones
Improved-performance stove and air purifier	Noonan et al. [34]	2017	USA	98 households with a child with asthma (n=115) using a wood-burning stove	Randomization to a sham filter, improved stove, or air purifier groups; observed during the winter before and one year after the intervention	For children with asthma and long-term wood smoke exposure, air purifiers did not affect their quality of life
Air purifier	Shao et al. [35]	2017	Beijing, China	35 older adults in Beijing (20 households)	Baseline measurement performed A 2-week period in the active or sham mode with ambulatory BP and HRV monitoring, followed by a hospital visit Followed by another 2-week observation period after switching modes	Among biomarkers, including pulmonary function, oxidative damage markers, BP, and HRV, only IL-8 showed a significant difference Air purifiers reduced major components of PM _{2.5} by 42–63%

consistency and generalizability of the reported findings. The effectiveness of negative ion generators was also generally lower than that of air purifiers, with limited supporting evidence and inconsistent health outcomes [17–38].

3. Mask Interventions

Five studies examined the effects of wearing masks during PM exposure on cardiovascular indicators and oxidative stress biomarkers in the general population. Sample sizes ranged

Table 3. Continued 4

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Air purifier	Chuang et al. [36]	2017	Taipei, Taiwan	200 homemakers	The participants were instructed to keep windows closed and use an air conditioner. One-year follow-up, followed by a crossover between real and sham filters. Six home visits per year for blood sampling and other measurements	Long-term PM _{2.5} exposure was associated with systemic inflammation markers, with air conditioner filters significantly modifying these health effects
Air purifier	Jhun et al. [37]	2017	USA	18 classrooms in 3 schools; 25 children with asthma	Randomized trial of an air purifier versus a sham device	No significant association was observed with FEV1 or asthma symptoms
Air purifier	Chen et al. [38]	2016	Shanghai, China	35 university students in Fudan University dormitories (10 rooms)	48 hours of purification versus sham, followed by a 2-week washout period (qualified air purifiers: model FAP04 (3M Filtrete))	Increased PM _{2.5} was associated with decreased methylation of candidate genes. Conversely, air purification increased DNA methylation. Hypomethylation of the CD40LG locus mediated the association between PM _{2.5} and sCD40L

PM=particulate matter; DBP=diastolic blood pressure; SBP=systolic blood pressure; SCAD=stable coronary artery disease; CRP=C-reactive protein; HDL-C=high-density lipoprotein cholesterol; PEFR=peak expiratory flow rate; LC-MS=liquid chromatography-mass spectrometry; BC=black carbon; BP=blood pressure; SDNN=standard deviation of NN intervals (a measure of heart rate variability); PNC=particulate number concentration; HRV=heart rate variability.

from 15 to 40 participants, and interventions were implemented for periods ranging from 1 day to approximately 1 week (Table 4) [39-43].

4. Pharmacological and Dietary Interventions

Nine studies assessed pharmacological and dietary interventions, specifically the administration of antioxidants and unsaturated fatty acids over several days, and observed changes in oxidative stress markers in blood as well as epigenetic changes. Some studies also analyzed the effects of adjusting medication regimens in patients with underlying health conditions

who were exposed to PM for varying durations. Details are presented in Table 5 [44-52].

5. Policy Interventions

Policy interventions were assessed in 22 studies conducted across various countries, including the United States, China, Australia, Japan, India, Canada, and Mexico. These studies employed randomized controlled trials, pre-post evaluations, and interrupted time-series analyses. Although variability in methodology, intervention type, and health outcome measures limited the ability to draw generalized conclusions, several studies

Table 4. Mask intervention studies

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Mask	Lim et al. [39]	2020	Seoul, Republic of Korea	21 older adults	Week 1: control period; Week 2: mask-wearing; Week 3: control period	With mask-wearing, the observed outcomes included decreased SBP, improved HRV indices, and changes in 8-OHdG
Mask	Zhang et al. [40]	2019	Beijing, China	39 university students	Crossover trial Urine collection after 4-hour subway air exposure with a mask, followed by a 2-week washout and then urine collection after 4-hour subway air exposure without a mask	Differences were observed in 4 urinary metabolites in male and 7 in female participants depending on mask use Changes in HRV were observed in relation to urinary 8-OHdG concentrations
Mask	Guan et al. [41]	2018	China	15 healthy adults	Double-blind, randomized, controlled crossover study A 2-hour outdoor walk with a reusable mask (with vs. without a filter), with crossover at a 1-month interval	Even after adjusting for multiple comparisons, a significant difference was observed between the mask and control groups in the increase of eNO, IL-1 α , IL-1 β , and IL-6 concentrations in EBC
Mask	Yang et al. [42]	2018	China	40 healthy university students	The experiment was conducted for 5 non-consecutive days per round, with a 2-week washout period between the rounds (a) No Intervention (b) Mask (c) Noise-canceling headphones (d) (b)+(c)	The interventions were associated with an increase in the HRV high-frequency parameter, a decrease in ST-segment elevation, and a reduction in HR No association with BP was observed
Mask	Shi et al. [43]	2017	Shanghai, China	24 healthy adults in Shanghai	Intervention group Wore particulate-filtering respirators for 48 hours Mandatory use outdoors, recommended use indoors Surveys on discomfort and health symptoms were conducted at 09:00 and 15:00 Crossover after a 3-week washout period	Short-term use of respiratory protection was found to be effective in improving autonomic nervous system function and lowering BP

PEM=personal exposure monitoring; PM=particulate matter; SBP=systolic blood pressure; HRV=heart rate variability; EBC=exhaled breath condensate; ST=skin temperature; HR=heart rate; BP=blood pressure.

Table 5. Pharmacological and dietary intervention studies

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Budesonide/formoterol	Yang et al. [44]	2022	China	Patients with asthma	Among patients with asthma using SABA or budesonide/formoterol only as needed (i.e., without maintenance therapy), the intervention group was instructed to add budesonide/formoterol on days when the AQI was in the “very unhealthy” range (≥ 201)	The annual frequency of asthma exacerbations was significantly lower in the intervention group than in the control group (0.55 vs. 2.67, respectively); unscheduled outpatient visits were also lower in the RIS group (0.18 vs. 1.11, respectively)
Omega-3	Barkhordari et al. [45]	2020	Iran	53 gas station workers	Random assignment to take omega-3 (n=29) or placebo (n=24) for 60 days	A pre-post comparison between the groups showed that omega-3 intake was associated with decreased IL-17 and IFN- γ , and increased IL-10 and TGF- β
Fish oil	Lin et al. [46]	2021	Shanghai, China	65 university students	Random assignment to receive fish oil supplementation versus placebo for 5 months	Improved skin inflammation markers as measured by D-Squame [®] tape samples
Probiotics	Wu et al. [47]	2020	Qingdao, China	120 adults	Random assignment to receive either a placebo or probiotics for 4 weeks	Nasal and gut 16S rRNA sequencing assay data
Vitamin D (observational study)	Bose et al. [48]	2019	Baltimore, MD, USA	120 pediatric patients with asthma	Four 1-week evaluations were conducted every 3 months over a 12-month period	In obese patients with asthma, the effects of PM _{2.5} exposure on symptoms varied by serum 25(OH)D levels
Fish oil	Lin et al. [49]	2019	Shanghai, China	65 university students	Random assignment to receive fish oil supplementation versus placebo for 5 months	Observed improvements in blood markers of oxidative damage, coagulation, endothelial function, and neuroendocrine function
NSAIDs	Wooding et al. [50]	2019	USA	1,078 veterans (followed from 1995 to 2012)	Data from the Normative Aging Study cohort, a longitudinal study of 2,280 veterans in the Boston area tracked since 1995 with physical exams and surveys every 3–5 years. The analysis used 3,220 visit records with PFT data from 1,078 participants At each visit, the participants were asked, “Do you take NSAIDs?” (Yes/No) The exposure variables were ambient PM _{2.5} levels 1, 7, 14, 21, and 28 days before each visit	The results suggested that NSAIDs can modify the acute respiratory effects of PM _{2.5} exposure

Table 5. Continued 1

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Vitamin B	Zhong et al. [51]	2017	Toronto, ON, Canada	Study conducted in 10 healthy adults	Vitamin B supplementation Single-blind, placebo-controlled crossover trial A 2-hours controlled exposure to 250 µg/m ³ of PM _{2.5} after 4 weeks of supplementation	Exposure to a high concentration (250 µg/m ³) of PM _{2.5} for 2 hours led to increased HR, decreased HRV, and increased WBC count. These effects were attenuated by Vitamin B supplementation
Vitamin B	Zhong et al. [52]	2017	Toronto, ON, Canada	Study conducted in 10 healthy adults	Vitamin B supplementation Single-blind, placebo-controlled crossover trial A 2-hours controlled exposure to 250 µg/m ³ of PM _{2.5} after 4 weeks of supplementation	Epigenome-wide methylation analysis PM _{2.5} induced methylation of genes involved in mitochondrial energy metabolism, and Vitamin B attenuated these changes

SBP=systolic blood pressure; HRV=heart rate variability; HR=heart rate; BP=blood pressure; SABA=short-acting beta-agonist; AQI=air quality index; PM=particulate matter; PFT=pulmonary function test; NSAIDs=non-steroidal anti-inflammatory drugs; WBC=white blood cell.

demonstrated that emission-reduction policies were associated with improved air quality and positive health outcomes, as summarized in Table 6 [53-74].

Conclusion

This literature review examined intervention studies aimed at reducing the health effects of PM.

Behavioral intervention studies primarily focused on the delivery of information (e.g., SMS alerts, in-person education) to influence awareness and individual behaviors. Studies employing these interventions demonstrated some positive effects among individuals with underlying health conditions. However, evidence regarding long-term efficacy remains limited, as most studies were conducted over relatively short periods within 1–2 months.

Air purifier intervention studies showed reductions in indoor air pollution; however, findings on health outcomes were

inconsistent and lacked long-term follow-up. In addition, these studies generally involved small sample sizes and short intervention durations (1–2 weeks) and largely targeted vulnerable populations such as patients with asthma. A few studies attempted to assess epigenetic or metabolomic changes, but limitations in participant diversity and study duration remain.

Mask intervention studies were few in number (n=5), short-term in duration (ranging from 1 day to 1 month), and conducted with small sample sizes (15–40 participants). Physiological outcomes such as blood pressure and heart rate variability were assessed; however, the results were inconsistent and not always statistically significant.

Pharmacological and dietary intervention studies evaluated the effects of antioxidants and unsaturated fatty acids on oxidative stress and epigenetic markers. A few studies examined how medication adjustments influenced disease management in patients with chronic conditions; however, variations in target populations and study designs limited the ability to draw

Table 6. Policy intervention studies

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Smelter shutdown	Pope [53]	1989	Utah, USA	Utah hospital data	Association between a steel mill shutdown and hospital admissions	Child hospital admission rates were 2–3 times higher during the steel mill's operation than during the shutdown period
Intensive traffic management during the Olympic Games	Friedman et al. [54]	2001	Atlanta, GA, USA	Children aged 1–16 years	Ecological study of air quality and childhood asthma based on traffic volume changes during the 17-day Olympic Games, compared with the 4-week periods before and after	During the Olympic period, the number of acute asthma care events decreased by 41.6%, 44.1%, 11.1%, and 19.1% at four respective sites
Restriction of sulfur content in fuel	Hedley et al. [55]	2002	Hong Kong	Census and Statistics department data	Analysis of mortality rates following a policy that restricted the sulfur content of fuel for power plants and road vehicles	A 2.1% reduction in all-cause mortality, 3.9% in respiratory mortality, and 2.0% in cardiovascular mortality was observed, along with an improvement in life expectancy of 20 days for women and 41 days for men
Construction of a bypass for a heavily polluted road	Burr et al. [56]	2004	North Wales, UK	165 individuals in a congested area and 283 in a non-congested area	Survey of respiratory diseases after bypass construction	Rhinitis and conjunctivitis improved after bypass construction
Air quality management efforts in non-attainment areas	Laden et al. [57]	2006	USA	8,096 individuals in the cities of Harriman, Kingston, Portage, Pardeeville, St. Louis, Steubenville, Topeka, Watertown, and Wyocena	Comparison between the period 1974–1989 and the follow-up period 1990–1998	A 27% reduction in mortality risk was associated with each 10 µg/m ³ decrease in PM _{2.5}
Smelter shutdown	Pope et al. [58]	2007	USA	Data source: U.S. National Center for Health Statistics monthly mortality rates, 1960–1975	Copper smelter strike	All-cause mortality decreased by 2.5% during the period of the complete copper smelter strike
Efforts to reduce air pollution concentrations in accordance with NAAQS	Pope et al. [59]	2009	USA	211 counties in 51 metropolitan areas	Estimation of life expectancy using a regression model based on PM data from the late 1970s/early 1980s and the late 1990s/early 2000s, along with life expectancy and socioeconomic data for 211 counties	An estimated 0.61-year increase in life expectancy was associated with each 10 µg/m ³ reduction in PM _{2.5}

Table 6. Continued 1

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Intensive management during the Olympic Games	Li et al. [60]	2010	China	1,475 adult asthma patients registered at Beijing Chaoyang Hospital	Implementation of vehicle restrictions and an alternate-day driving policy during the Olympic Games	The number of outpatient visits for asthma decreased by 58% compared to the pre-restriction period
Air quality management efforts in non-attainment areas	Lepeule et al. [61]	2012	USA	Watertown, Kingston, Harriman, St. Louis, Steubenville, Portage, Wyocena, Pardeeville, and Topeka	Analysis of the association between post-2001 air pollution concentrations and mortality	A 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in $\text{PM}_{2.5}$ was associated with a 14% increased risk of all-cause mortality, a 26% increase in cardiovascular mortality, and a 37% increase in lung cancer mortality
Intensive management during the Olympic Games	Rich et al. [62]	2012	China	125 healthy young adults	Analysis of health effects in healthy adults related to air pollution emissions before, during, and after the 2008 Beijing Olympics	Reduction in air pollution during the intensive management period decreased CRP levels in healthy young adults
Efforts to reduce air pollution concentrations in accordance with NAAQS	Correia et al. [63]	2013	USA	545 counties in 51 metropolitan areas	Estimation of the association between reductions in PM concentration and changes in life expectancy using a regression model on a dataset of annual county-level mean $\text{PM}_{2.5}$ for 545 counties	A 0.35-year increase in life expectancy was associated with each 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reduction in $\text{PM}_{2.5}$. The association was stronger in more urban and densely populated counties
Ban on the production, sale, distribution, and domestic use of coal	Dockery et al. [64]	2013	Dublin, Ireland	Citizens of Dublin, Ireland and 18 control regions	Comparison of pre- and post-policy respiratory and cardiovascular hospitalizations and mortality in 12 cities with a coal ban (including Dublin) and 18 control regions	Respiratory mortality in the intervention regions decreased by 16.8%, a greater reduction than the 2.3% decrease in the control regions
Intensive management during the Olympic Games	Mu et al. [65]	2014	China	201 Beijing residents	Implementation of vehicle restrictions and an alternate-day driving policy during the Olympic Games	Peak expiratory flow levels were higher during the intensive management period than before and after
Emissions reduction act	Hasunuma et al. [66]	2014	Japan	3-year-old children in 28 study areas from 1997 to 2009	Comparison of the prevalence of allergic diseases in children between 16 areas where the Emissions Reduction Act was implemented and 12 areas where it was not	The prevalence of childhood asthma in the intervention areas decreased by 1.1%; post-policy, respiratory symptoms in children aged ≤ 3 years decreased by 17.4% in the intervention areas, a greater reduction than the 3.5% in control areas

Table 6. Continued 2

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Intensive management during the Olympic Games	Su et al. [67]	2015	China	Patients with CVD	Implementation of vehicle restrictions and an alternate-day driving policy during the Olympic Games	Air pollutant concentrations decreased significantly during the Olympic Games, when the strongest reduction measures were applied. An interquartile range increase in fine PM _{2.5} was associated with an 8.8% higher risk of CVD mortality, with more pronounced effects in women and older adults
Household use of clean fuels	Schilmann et al. [68]	2015	Mexico	668 households in 6 wood-burning communities (intervention group: 338 children; control group: 330 children)	Assessment of respiratory effects on children due to the introduction of the Patsari stove	The use of the Patsari stove was associated with fewer upper and lower respiratory infections compared to traditional wood-burning stoves
Policy banning residential wood burning	Yap and Garcia [69]	2015	USA	Hospital data	Before-and-after comparison of a policy banning residential wood burning, aimed at reducing carbon monoxide and PM emissions	Following the policy implementation, CVD hospitalizations significantly decreased among individuals aged ≥65; no association was observed for those under 65
Enactment of a diesel emission control ordinance	Yorifuji et al. [70]	2016	Tokyo, Japan	Citizens of the 23 special wards of the Tokyo Metropolis	Comparison of mortality rates before and after the implementation of Tokyo's diesel emission control ordinance	Compared to the pre-policy period (2000–2003), the post-policy period (2009–2012) saw the following mortality reductions: all-cause (6.0%), CVD (11.0%), ischemic heart disease (10%), cerebrovascular disease (6.2%), respiratory disease (22%), and lung cancer (4.9%)

consistent conclusions.

Policy intervention studies employed diverse study designs—including randomized controlled trials, pre-post evaluations, and interrupted time-series analyses—and were conducted across various countries. These interventions targeted multiple emission sources, including industries, households,

and vehicles. Although emission-reduction measures demonstrated positive effects on air quality and health, differences in intervention types and outcome measures made it difficult to generalize the findings. Most of these studies were conducted internationally.

Beyond these studies, several pilot projects have been

Table 6. Continued 3

Intervention	Researcher	Year	Location	Participant	Method	Key outcome
Air pollution reduction policy under the Seoul Metropolitan area air quality management plan	Han et al. [71]	2018	Republic of Korea	Citizens of Seoul, Incheon, and Daejeon	Comparison of mortality rates before and after the air pollution reduction policy under the Seoul Metropolitan area air quality management plan	Compared to pre-policy, post-policy changes in Seoul included an 8.3% decrease in CVD mortality and a 9.8% decrease in cerebrovascular disease mortality. Incheon saw a 7.9% decrease in cerebrovascular disease mortality but a 6.1% increase in ischemic heart disease mortality
Increase in green spaces	Lee et al. [72]	2018	South Korea	659 pregnant women and their 6-month-old infants	Utilization of data from the Ministry of Environment on air pollution and land cover (for green space), combined with asthma data from the ISAAC questionnaire	During the first trimester, a 10 µg/m ³ increase in PM ₁₀ or a 10 ppb increase in NO ₂ exposure was associated with a 1.219-fold increased risk of atopic dermatitis in infants. Increased green space within 200 m of the home address was associated with a reduced risk (OR, 0.996; 95% CI, 0.993–0.999)
Air pollution reduction policy under the Seoul Metropolitan area air quality management plan	Kim et al. [73]	2019	Republic of Korea	Citizens of Seoul and Daejeon	Hospital visits for asthma before and after the air pollution reduction policy under the Seoul Metropolitan area air quality management plan	Post-policy, the asthma-related hospital visit rate decreased by 11.3% for the total population and 15.5% for the 0–18 age group
Nine pollution control policies	Abrams et al. [74]	2019	Atlanta, GA, USA	Atlanta residents	Comparison of emergency department visit records before and after the implementation of nine pollution control policies resulting from the Clean Air Act Amendments	Pollution control policies from the 1990 Clean Air Act Amendments reduced emergency department visits for cardiopulmonary diseases among Atlanta residents: respiratory disease by 5.9%, asthma by 16.5%, CVD by 2.3%, and congestive heart failure by 2.6%

PM=particulate matter; NAAQS=National Ambient Air Quality Standards; CRP=C-reactive protein; CVD=cardiovascular disease; ISAAC=International Study of Asthma and Allergies in Childhood; OR=odds ratio; CI=confidence interval.

launched by government ministries to mitigate the health effects of PM, such as mobile care services for vulnerable populations. Bucheon's "Smart Particulate Matter Clean Zone" and mobile outreach programs based on existing home healthcare services are prime examples that integrate intervention research with community health efforts. Although such projects are being implemented at both national and local government levels, there remains a lack of interventions that are truly sustainable and community-based.

International research—particularly studies conducted in Europe, North America, and China—has aimed not only to determine the health effects of PM on vulnerable populations (such as individuals with respiratory or cardiovascular diseases, the elderly, children, and occupationally exposed workers) but also to explore interventions that reduce health risks. Initiatives such as the CARE program in the United States, the integration of air quality alerts into emergency response systems in New York, and shelter provisions for homeless individuals during severe PM exposure events (e.g., wildfires) represent community-level PM interventions developed to bridge the gap between research and public health practice.

ROK is not significantly behind in PM research. However, there remains a continued need to design and implement comprehensive service models that integrate local health centers, government-supported agencies, and municipal welfare services. Much like translational research bridges the gap from bench to bedside, PM intervention research must also be translated from controlled research settings to community-level practices through sustained efforts.

As environmental health issues vary by region due to geographical differences, environmental conditions, socioeconomic status, and population demographics, the characteristics,

emission patterns, and health effects of environmental hazards are also region-dependent. Therefore, it is crucial that existing regional management systems operate in an integrated and cohesive manner, as they are best positioned to understand and address their regions' specific dynamics.

Health sectors should lead programs aimed at protecting the public from PM exposure, with collaboration from other sectors and consideration of private resources. Furthermore, new initiatives should be aligned with existing public health programs to ensure sustainability. For example, the home visiting healthcare program operates as part of ROK's Integrated Health Promotion Program, as the two initiatives share target populations, personnel, and content.

Current policy trends and research findings on the health effects of PM are often published exclusively on government websites, limiting accessibility. This highlights the need to develop connected and participatory interventions that foster communication and collaboration among local residents, relevant agencies, and experts. Establishing a robust framework for such services will enable a more effective and inclusive response to the health challenges posed by PM.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This study was supported by grants from the Research of Korea Centers for Disease Control and Prevention (No. 2024-ER0911-00).

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: DWL, HCK.

Data curation: SBK, DWL. Formal analysis: SBK, DWL. Funding acquisition: HCK. Investigation: SBK, DWL. Methodology: DWL. Project administration: HCK. Supervision: HCK. Writing-original draft: SBK, DWL. Writing-review & editing: SBK, DWL, SMC, WJK, MHL, JHL, MSP, HCK.

References

1. Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol* 2013;14:1262-3.
2. Jo HJ, Park SW, Lee HI, Lee SW. Health effects caused by particulate matter and guidelines for health care. *Public Health Wkly Rep* 2018;11:458-62.
3. Smart fine dust-free specialized zone development project [Internet]. Bucheon city [cited 2024 Mar 1]. Available from: <https://airbucheon.or.kr/smartbsns/viewSmartUlfptcBsnsInfo.do>
4. World Health Organization (WHO). Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. WHO; 2024 [cited 2024 Mar 1]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
5. McCarron A, Semple S, Swanson V, Gillespie C, Braban C, Price HD. Piloting co-developed behaviour change interventions to reduce exposure to air pollution and improve self-reported asthma-related health. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2025;35:242-53.
6. Supervia M, Bomtempo APD, Gómez E, Bonikowske AR, Arroyo-Riaño MO, Ghisi GLM. Enhancing cardiovascular patients' knowledge of air pollution: a pilot study evaluating the impact of an educational intervention in cardiac rehabilitation. *Front Rehabil Sci* 2024;5:1495621.
7. Kang J, Kim HC, Jang Y, et al. Randomised controlled trial of a behavioural intervention to reduce exposure to PM_{2.5} in patients with COPD. *Environ Int* 2023;181:108286.
8. Rosser FJ, Rothenberger SD, Han YY, Forno E, Celedón JC. Air quality index and childhood asthma: a pilot randomized clinical trial intervention. *Am J Prev Med* 2023;64:893-7.
9. Kumar P, Hama S, Nogueira T, et al. In-car particulate matter exposure across ten global cities. *Sci Total Environ* 2021;750:141395.
10. Liu L, Urch B, Nanthakumar K, et al. Air pollution, physical activity, and cardiovascular function of patients with implanted cardioverter defibrillators: a randomized controlled trial of indoor versus outdoor activity. *J Occup Environ Med* 2020;62:263-71.
11. Guo SE, Chi MC, Hwang SL, Lin CM, Lin YC. Effects of particulate matter education on self-care knowledge regarding air pollution, symptom changes, and indoor air quality among patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:4103.
12. Hovell MF, Bellettiere J, Liles S, et al. Randomised controlled trial of real-time feedback and brief coaching to reduce indoor smoking. *Tob Control* 2020;29:183-90.
13. Giles LV, Tebbutt SJ, Carlsten C, Koehle MS. Effects of low-intensity and high-intensity cycling with diesel exhaust exposure on soluble P-selectin, E-selectin, ICAM-1, VCAM-1 and complete blood count. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2019;5:e000625.
14. Mehri K, Gosselin P. Evaluation of the impacts of a phone warning and advising system for individuals vulnerable to smog. Evidence from a randomized controlled trial study in Canada. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:1817.
15. Jasemzadeh M, Khafaie MA, Jaafarzadeh N, Araban M. Effectiveness of a theory-based mobile phone text message intervention for improving protective behaviors of pregnant women against air pollution: a randomized controlled trial. *Environ Sci Pollut Res Int* 2018;25:6648-55.
16. Araban M, Tavafian SS, Zarandi SM, Hidarnia AR, Burri A, Montazeri A. A behavioral strategy to minimize air pollution exposure in pregnant women: a randomized controlled trial. *Environ Health Prev Med* 2017;22:26.
17. Xia X, Chan KH, Kwok T, Wu S, Man CL, Ho KF. Effects of long-term indoor air purification intervention on cardiovascular health in elderly: a parallel, double-blinded randomized controlled trial in Hong Kong. *Environ Res* 2024;247:118284.
18. Liu Z, Wang Q, Li N, et al. Cardiovascular benefits of air purifier in patients with stable coronary artery disease: a randomized single-blind crossover study. *Front Public Health* 2023;10:1082327.
19. Wei Q, Ji Y, Gao H, et al. Oxidative stress-mediated particulate matter affects the risk of relapse in schizophrenia patients: air purification intervention-based panel study.

- Environ Pollut 2022;292(Pt B):118348.
20. Barkjohn KK, Norris C, Cui X, et al. Real-time measurements of PM_{2.5} and ozone to assess the effectiveness of residential indoor air filtration in Shanghai homes. *Indoor Air* 2021;31:74-87.
21. Liu W, Huang J, Lin Y, et al. Negative ions offset cardiorespiratory benefits of PM_{2.5} reduction from residential use of negative ion air purifiers. *Indoor Air* 2021;31:220-8.
22. Bard RL, Rubenfire M, Fink S, et al. Reduced fine particulate matter air pollution exposures using in-home portable air cleaners: pilot results of the cardiac rehabilitation air filter trial (craft). *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2020;40:276-9.
23. Kim S, Lee J, Park S, et al. Association between peak expiratory flow rate and exposure level to indoor PM_{2.5} in asthmatic children, using data from the escort intervention study. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:7667.
24. Cui X, Li Z, Teng Y, et al. Association between bedroom particulate matter filtration and changes in airway pathophysiology in children with asthma. *JAMA Pediatr* 2020;174:533-42.
25. Chen C, Li H, Niu Y, et al. Impact of short-term exposure to fine particulate matter air pollution on urinary metabolome: a randomized, double-blind, crossover trial. *Environ Int* 2019;130:104878.
26. Dong W, Liu S, Chu M, et al. Different cardiorespiratory effects of indoor air pollution intervention with ionization air purifier: findings from a randomized, double-blind crossover study among school children in Beijing. *Environ Pollut* 2019;254(Pt B):113054.
27. Gao X, Xu Y, Cai Y, et al. Effects of filtered fresh air ventilation on classroom indoor air and biomarkers in saliva and nasal samples: a randomized crossover intervention study in preschool children. *Environ Res* 2019;179(Pt A):108749.
28. Barn P, Gombojav E, Ochir C, et al. The effect of portable HEPA filter air cleaner use during pregnancy on fetal growth: the UGAAR randomized controlled trial. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):981-9.
29. Morishita M, Adar SD, D'Souza J, et al. Effect of portable air filtration systems on personal exposure to fine particulate matter and blood pressure among residents in a low-income senior facility: a randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 2018;178:1350-7.
30. Liu S, Chen J, Zhao Q, et al. Cardiovascular benefits of short-term indoor air filtration intervention in elderly living in Beijing: an extended analysis of BIAPSY study. *Environ Res* 2018;167:632-8.
31. Li H, Chen R, Cai J, Cui X, Huang N, Kan H. Short-term exposure to fine particulate air pollution and genome-wide DNA methylation: a randomized, double-blind, crossover trial. *Environ Int* 2018;120:130-6.
32. Cohen G, Levy I, Yuval, et al. Chronic exposure to traffic-related air pollution and cancer incidence among 10,000 patients undergoing percutaneous coronary interventions: a historical prospective study. *Eur J Prev Cardiol* 2018;25:659-70.
33. Li H, Cai J, Chen R, et al. Particulate matter exposure and stress hormone levels: a randomized, double-blind, crossover trial of air purification. *Circulation* 2017;136:618-27.
34. Noonan CW, Semmens EO, Smith P, et al. Randomized trial of interventions to improve childhood asthma in homes with wood-burning stoves. *Environ Health Perspect* 2017;125:097010.
35. Shao D, Du Y, Liu S, et al. Cardiorespiratory responses of air filtration: a randomized crossover intervention trial in seniors living in Beijing: Beijing indoor air purifier study, BIAPSY. *Sci Total Environ* 2017;603-604:541-9.
36. Chuang HC, Ho KF, Lin LY, et al. Long-term indoor air conditioner filtration and cardiovascular health: a randomized crossover intervention study. *Environ Int* 2017;106:91-6.
37. Jhun I, Gaffin JM, Coull BA, et al. School environmental intervention to reduce particulate pollutant exposures for children with asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2017;5:154-9.e3.
38. Chen R, Meng X, Zhao A, et al. DNA hypomethylation and its mediation in the effects of fine particulate air pollution on cardiovascular biomarkers: a randomized crossover trial. *Environ Int* 2016;94:614-9.
39. Lim YH, Kim W, Choi Y, et al. Effects of particulate respirator use on cardiopulmonary function in elderly women: a quasi-experimental study. *J Korean Med Sci* 2020;35:e64.
40. Zhang Y, Chu M, Zhang J, et al. Urine metabolites associated with cardiovascular effects from exposure of size-fractioned particulate matter in a subway environment: a randomized crossover study. *Environ Int* 2019;130:104920.
41. Guan T, Hu S, Han Y, et al. The effects of facemasks on airway inflammation and endothelial dysfunction in healthy young adults: a double-blind, randomized, con-

- trolled crossover study. *Part Fibre Toxicol* 2018;15:30.
42. Yang X, Jia X, Dong W, et al. Cardiovascular benefits of reducing personal exposure to traffic-related noise and particulate air pollution: a randomized crossover study in the Beijing subway system. *Indoor Air* 2018. [Epub] <https://doi.org/10.1111/ina.12485>
43. Shi J, Lin Z, Chen R, et al. Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial. *Environ Health Perspect* 2017;125:175-80.
44. Yang X, Huang J, Hu Y, et al. The rescue intervention strategy for asthma patients under severe air pollution: a single-center prospective randomized controlled trial. *J Asthma* 2022;59:1712-21.
45. Barkhordari S, Mirmosayyeb O, Mansourian M, et al. Omega 3 supplementation can regulate inflammatory states in gas station workers: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *J Interferon Cytokine Res* 2020;40:262-7.
46. Lin Z, Niu Y, Jiang Y, et al. Protective effects of dietary fish-oil supplementation on skin inflammatory and oxidative stress biomarkers induced by fine particulate air pollution: a pilot randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Br J Dermatol* 2021;184:261-9.
47. Wu Y, Pei C, Wang X, et al. Effect of probiotics on nasal and intestinal microbiota in people with high exposure to particulate matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$): a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical study. *Trials* 2020;21:850.
48. Bose S, Diette GB, Woo H, et al. Vitamin D status modifies the response to indoor particulate matter in obese urban children with asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2019;7:1815-22.e2.
49. Lin Z, Chen R, Jiang Y, et al. Cardiovascular benefits of fish-oil supplementation against fine particulate air pollution in China. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:2076-85.
50. Wooding DJ, Ryu MH, Hüls A, et al. Particle depletion does not remediate acute effects of traffic-related air pollution and allergen. A randomized, double-blind crossover study. *Am J Respir Crit Care Med* 2019;200:565-74.
51. Zhong J, Trevisi L, Urch B, et al. B-vitamin supplementation mitigates effects of fine particles on cardiac autonomic dysfunction and inflammation: a pilot human intervention trial. *Sci Rep* 2017;7:45322.
52. Zhong J, Karlsson O, Wang G, et al. B vitamins attenuate the epigenetic effects of ambient fine particles in a pilot human intervention trial. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2017;114:3503-8.
53. Pope CA 3rd. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *Am J Public Health* 1989;79:623-8.
54. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA* 2001;285:897-905.
55. Hedley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet* 2002;360:1646-52.
56. Burr ML, Karani G, Davies B, Holmes BA, Williams KL. Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions. *Occup Environ Med* 2004;61:212-8.
57. Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:667-72.
58. Pope CA 3rd, Rodermund DL, Gee MM. Mortality effects of a copper smelter strike and reduced ambient sulfate particulate matter air pollution. *Environ Health Perspect* 2007;115:679-83.
59. Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med* 2009;360:376-86.
60. Li Y, Wang W, Kan H, Xu X, Chen B. Air quality and outpatient visits for asthma in adults during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *Sci Total Environ* 2010;408:1226-7.
61. Lepeule J, Laden F, Dockery D, Schwartz J. Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ Health Perspect* 2012;120:965-70.
62. Rich DQ, Kipen HM, Huang W, et al. Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults. *JAMA* 2012;307:2068-78.
63. Correia AW, Pope CA 3rd, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. Effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007. *Epidemiology* 2013;24:23-31.
64. Dockery DW, Rich DQ, Goodman PG, et al. Effect of air

- pollution control on mortality and hospital admissions in Ireland. *Res Rep Health Eff Inst* 2013;176:3-109.
65. Mu L, Deng F, Tian L, et al. Peak expiratory flow, breath rate and blood pressure in adults with changes in particulate matter air pollution during the Beijing Olympics: a panel study. *Environ Res* 2014;133:4-11.
 66. Hasunuma H, Ishimaru Y, Yoda Y, Shima M. Decline of ambient air pollution levels due to measures to control automobile emissions and effects on the prevalence of respiratory and allergic disorders among children in Japan. *Environ Res* 2014;131:111-8.
 67. Su C, Hampel R, Franck U, et al. Assessing responses of cardiovascular mortality to particulate matter air pollution for pre-, during- and post-2008 Olympics periods. *Environ Res* 2015;142:112-22.
 68. Schilman A, Riojas-Rodríguez H, Ramírez-Sedeño K, Berrueta VM, Pérez-Padilla R, Romieu I. Children's respiratory health after an efficient biomass stove (patsari) intervention. *Ecohealth* 2015;12:68-76.
 69. Yap PS, Garcia C. Effectiveness of residential wood-burning regulation on decreasing particulate matter levels and hospitalizations in the San Joaquin Valley Air Basin. *Am J Public Health* 2015;105:772-8.
 70. Yorifuji T, Kashima S, Doi H. Fine-particulate air pollution from diesel emission control and mortality rates in Tokyo: a quasi-experimental study. *Epidemiology* 2016;27:769-78.
 71. Han C, Lim YH, Yorifuji T, Hong YC. Air quality management policy and reduced mortality rates in Seoul Metropolitan Area: a quasi-experimental study. *Environ Int* 2018;121(Pt 1):600-9.
 72. Lee JY, Lamichhane DK, Lee M, et al. Preventive effect of residential green space on infantile atopic dermatitis associated with prenatal air pollution exposure. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15:102.
 73. Kim H, Kim H, Lee JT. Effect of air pollutant emission reduction policies on hospital visits for asthma in Seoul, Korea: quasi-experimental study. *Environ Int* 2019;132:104954.
 74. Abrams JY, Klein M, Henneman LRF, et al. Impact of air pollution control policies on cardiorespiratory emergency department visits, Atlanta, GA, 1999-2013. *Environ Int* 2019;126:627-34.

시·도별 당뇨병 진단 경험률(30세 이상) 격차 추이, 2015–2024년

2024년 기준으로 만 30세 이상의 당뇨병 진단 경험률(연령표준화)은 제주에서 7.6%로 가장 낮게, 세종, 강원에서 10.2%로 가장 높게 나타났다. 시·도간 격차는 2.7%p이며, 전년 3.4%p 대비 0.7%p 감소하였다(그림 1).

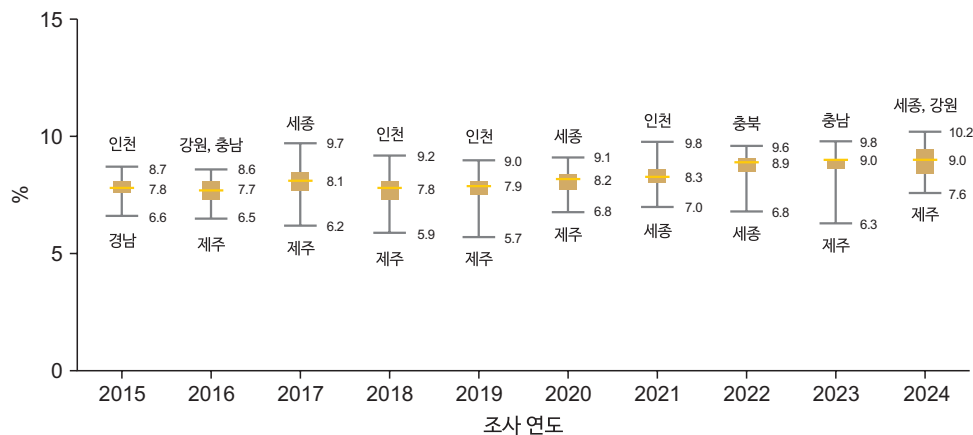


그림 1. 시·도별 당뇨병 진단 경험률(30세 이상) 격차 추이, 2015–2024년

*당뇨병 진단 경험률(30세 이상): 의사에게 당뇨병을 진단받은 30세 이상의 분율

†그림 1의 연도별 지표값은 2005년 추계인구로 연령표준화

출처: 2024 지역건강통계 한눈에 보기, <https://chs.kdca.go.kr/>

작성자: 질병관리청 만성질환관리국 만성질환관리과 배효정 

QuickStats

Trends in the Prevalence Gap of Diabetes Diagnosis between Cities or Provinces, during 2015–2024

In 2024, the age-standardized rate of diabetes diagnosis among individuals aged ≥ 30 years was the lowest in Jeju (7.6%) and the highest in Sejong-si and Gangwon-do (10.2% respectively). The prevalence gap of diabetes diagnosis between the highest and lowest rates decreased from 3.4%p in 2023 to 2.7%p in 2024 (Figure 1).

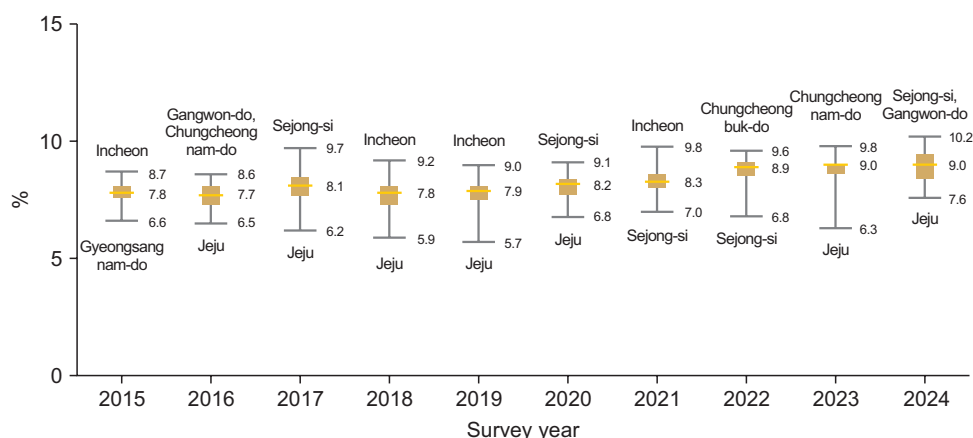


Figure 1. Trends in the prevalence gap of diabetes diagnosis between cities or provinces, 2015–2024

*Prevalence of diabetes diagnosis (aged ≥ 30 years): the percentage of individuals (aged ≥ 30 years) who have been diagnosed with diabetes by a physician.

†Prevalence rates in Figure 1 were age-standardized using the 2005 projected population.

Source: Korea Community Health at a Glance 2024, Korea Community Health Survey (KCHS), <https://chs.kdca.go.kr/>

Reported by: Hyo-jeong Bae , Division of Chronic Disease Control, Department of Chronic Disease Prevention and Control, Korea Disease Control and Prevention Agency