



주간 건강과 질병

PHWR

Public Health Weekly Report

Vol. 18, No. 42, October 30, 2025

Content

리뷰와 전망

1577 두창백신 연구개발 및 올소폭스바이러스 감염증 치료제 효능 평가를 위한 실험동물 모델

정책 보고

1595 국내외 감염병 위험평가체계 비교 분석: 질병관리청의 현황과 고도화 방향

1614 2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련 실시 결과

질병 통계

1629 심뇌혈관질환 사망률 추이, 2014-2024년



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 10월 30일

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

두창백신 연구개발 및 올소폭스바이러스 감염증 치료제 효능평가를 위한 실험동물 모델

이상은 , 김진원 , 이민지 , 이화중 , 정윤석*

질병관리청 진단분석국 고위험병원체분석과

초 록

목적: 두창 바이러스의 생물테러 악용 가능성과 재출현에 대한 우려는 여전히 존재하며, 2022년 이후 전 세계적으로 발생 중인 엡폭스의 경우처럼 두창 바이러스가 속한 올소폭스바이러스의 사람 감염과 유행의 가능성도 있다. 이에 따라 두창 및 엡폭스와 같은 올소폭스 바이러스에 대한 백신과 치료제의 연구와 개발의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 두창 백신의 주요 성분인 백시니아 바이러스에 대한 실험동물 모델 구축의 필요성을 고찰하고, 백시니아 면역글로불린 및 단클론항체의 효능평가 사례 소개를 통해 향후 백신 및 치료제 개발에 이들 동물모델의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

방법: 올소폭스바이러스 감염 연구에 사용되는 주요 실험동물 모델의 구축 방법과 병리학적 특징을 문헌조사를 통해 소개하였다. 또한 올소폭스바이러스 감염 실험동물 모델을 이용하여 백시니아 면역글로불린과 이를 대체하기 위해 개발 중인 단클론항체의 효능평가 사례를 소개하였다.

결과: 올소폭스바이러스 감염 동물 모델은 면역 상태, 감염경로 등에 따라 다양한 병리 양상을 보이며, 실제 두창 백신 및 치료제 후보물질의 비임상 시험에서 유용하게 활용되고 있다. 특히 단클론항체는 기존의 백시니아 면역글로불린을 대체할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

결론: 올소폭스바이러스 실험동물 모델은 두창 및 올소폭스바이러스의 감염에 대한 예방 백신이나 치료제의 개발에 있어 병리학적 이해와 후보물질의 비임상 효능평가를 위해 유용하게 활용될 수 있다.

주요 검색어: 백시니아; 올소폭스바이러스; 백시니아 면역글로불린; 단클론항체; 동물모델

서 론

두창은 매우 전염성이 강한 바이러스성 감염병으로, 과거 수많은 사람들을 죽음에 이르게 했다[1-3]. 세계보건기구는

1967년부터 두창 박멸을 위한 프로그램을 시작했고, 1980년에 두창 박멸을 선언한 이후 일반인에 대한 두창 백신 예방접종은 점차 중단되었다. 이후 현재까지 두창의 자연적인 감염 사례는 보고되지 않았지만, 두창 바이러스는 환경에서 비교적

Received June 4, 2025 Revised July 25, 2025 Accepted September 11, 2025

*Corresponding author: 정윤석, Tel: +82-43-719-8270, E-mail: rollstone93@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?**

두창 백신 부작용 치료제로 사용되는 백시니아 면역글로블린을 대체하기 위한 항체 치료제가 연구되고 있으며, 효능 평가를 위해 백시니아 바이러스와 같은 올소폭스바이러스 감염 동물 모델이 사용된다.

② 새로이 알게 된 내용은?

토끼는 백시니아 바이러스에 감수성이 높아 적은 양의 바이러스로도 감염 모델 구축이 가능하다. 원숭이는 사람과 유전적으로 유사하여 비슷한 병리학적 양상을 나타내며, 이에 백신과 치료제 개발을 위한 비임상 실험에 적합하다.

③ 시사점은?

다양한 동물 모델을 활용하여 두창 백신 부작용 치료제뿐만 아니라 올소폭스바이러스 감염 치료제 및 백신의 개발에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

안정적이고 감염력과 치명률이 높아 생물테러에 악용될 가능성이 크다. 따라서 현재는 생물테러에 대비하여 초동대응 요원과 두창 바이러스가 속한 올소폭스바이러스를 연구하는 실험실 종사자들을 대상으로 두창 백신을 접종하고 있다. 그러나 생물테러는 불특정 다수의 인구집단을 대상으로 발생할 가능성이 있고, 이러한 상황에서는 다수의 인구집단을 대상으로 두창 백신의 접종이 필요할 수 있다[2-4]. 이에 두창 백신 주요 성분인 백시니아 바이러스에 대한 병원성 연구, 후천성 면역결핍 증후군, 장기이식자 등 면역저하자, 중증 아토피 피부염 환자, 임산부 등 특정 고위험군에게 기존 백신보다 안전한 새로운 백신의 연구개발과 두창 백신 접종 후 부작용에 대한 치료제 개발은 여전히 중요한 과제로 남아있다.

백시니아 바이러스에 대한 연구는 최근 유행한 원숭이두창 바이러스뿐만 아니라 현재와 미래에 발생할 수 있는 올소폭스바이러스와 같은 감염병에 효과적으로 대응하기 위해 필요하다. 그러나 인간을 대상으로 한 백시니아 바이러스 감염 연구는 윤리적 및 안전성 문제로 제한되기 때문에 미국 식품

의약품국(US Food and Drug Administration)의 동물실험 규정에 따른 동물 모델의 활용이 필수적이다.

백시니아 바이러스 감염 동물 모델에는 원숭이, 마우스, 토끼 등이 사용되고 있다. 이러한 동물 모델을 이용해 백시니아 바이러스 감염에 대한 병리학적 특징, 백신과 치료제(백시니아 면역글로블린[vaccinia immune globulin; VIG], 항체 등)의 안전성 및 효능을 평가할 수 있으며, 이는 백시니아와 유사한 질병에 대한 백신 및 치료제를 개발하는 데 중요한 기초 자료가 될 수 있다[2,4]. 이에 이 글에서는 각 백시니아 바이러스 감염 동물 모델의 구축 방법, 병리학적 특징, 그리고 VIG 및 치료제의 전임상 효능 평가에 어떻게 활용되었는지를 소개하고자 한다.

백시니아 바이러스 및 올소폭스바이러스 감염 동물 모델

백시니아 바이러스 및 올소폭스바이러스 감염 동물 모델에는 마우스(CD-1, severe combined immunodeficiency [SCID], BALB/c 등), 토끼, 원숭이(마카크 등) 등이 주로 활용되며, 백신 및 치료제의 효능 평가, 병리학적 기전 및 면역 반응 등 연구 목적에 따라 달라진다(표 1).

1. 마우스 모델

마우스는 백시니아 바이러스 감염 연구에서 가장 광범위하게 활용되는 동물 모델이다. 사용되는 마우스의 계통(CD-1, SCID, BALB/c 등), 백시니아 바이러스의 균주의 종류(International Health Division [IHD], Western Reserve [WR] 등)와 바이러스 감염 경로(정맥, 복강, 피하, 진피, 비강 등)에 따라 감수성과 감염에 의한 증상의 양상이 달라진다[4]. 아래에서는 주요한 마우스 백시니아 모델의 사례를 소개하고자 한다.

Shearer 등[5]은 사람에게 백시니아의 치료제로 사용하는

표 1. 백시니아 바이러스 및 올소포스바이러스 감염 동물 모델의 비교

구분	마우스 모델	토끼 모델	원숭이 모델
종/계통	BALB/c, CD-1, SCID, nu/nu 마우스 등	뉴질랜드 화이트 토끼	리서스 원숭이, 시노몰구스 원숭이 등
감염 경로	정맥, 비강, 피부상처(scarification), 복강 등	피내, 에어로졸, 각막	정맥, 기관 내, 에어로졸
병리학적 특징	병변, 전신 감염 및 사망, 체중 감소 등	접종 부위 피부 병변→괴사 및 농포, 고열, 체중 감소, 호흡기 증상	전신성 수포, 농포성 발진, 림프절 종대, 폐렴, 괴사성 병변, 림프구 감소 등
장점	다양한 면역 상태를 반영한 실험 설계 가능, 저비용, 대량 실험 가능	높은 감수성으로 소량의 바이러스로도 감염, 사람 두창과 유사한 병리	사람과 유전, 생리, 병리 유사, 사람 임상 결과 재현 가능
단점	사람의 병리를 재현하는 데 한계가 있음	중동물로 유지, 관리 복잡	고비용, 기술적 복잡성, 특수 시설 및 장비 요구(에어로졸)
주요 활용 목적	VIG 및 단클론항체 효능평가	항바이러스 치료제, 백신 효능 평가	최종 전임상 효능 평가, 병리 양상 및 중증 면역반응 분석

SCID=severe combined immunodeficiency; VIG=vaccinia immune globulin.

VIG의 생체 내 항바이러스 활성을 평가하기 위해 두 가지 유형의 백시니아 바이러스 감염 마우스 모델을 확립하였다. 이 중 첫째 모델은 면역정상(immunocompetent)인 암컷 CD-1 마우스의 꼬리 정맥에 백시니아 바이러스 7×10^4 plaque-forming units (PFU)를 주사함으로써 감염을 유도하고, 감염 후 8일째에 형성되는 꼬리 병변의 수가 10개 이상인 마우스의 비율로 감염 정도를 평가한다. 병리학적으로는 병변이 제한적으로 꼬리 전체에 다수 형성되며, 이 병변은 감염 후 6-8 일째에 가장 뚜렷하게 나타난다. Shearer 등[5]은 이러한 마우스 모델에서 VIG intravenous (VIG-IV)의 효능 평가를 위해 감염 전후 시점(접종 전날, 접종 직후, 접종 1일차)에 각각 100 mg/kg 또는 400 mg/kg의 용량으로 정맥 투여한 후, 꼬리당 병변이 10개 이상인 마우스의 비율을 통계적으로 분석하여 평가하였다. 100 mg/kg 또는 400 mg/kg 용량의 VIG-IV는 각각 감염 직후 또는 감염 후 1일 이내 투여 시 꼬리 병변이 10개 이상인 마우스의 비율을 유의미하게 감소시켰으나, 백시니아 바이러스 감염 2일차 이후부터는 두 가지 VIG-IV 투여 용량 모두 통계적으로 유의미한 병변의 감소 효과를 나타내지 않았다.

두 번째 모델은 중증복합면역결핍 상태인 SCID 마우스에

백시니아 바이러스 3×10^4 PFU를 정맥에 주사하여 감염시키면, 45일 이내에 100% 사망하는 감염 모델이다. 병리학적으로 SCID 마우스는 선천적으로 T세포와 B세포가 모두 결핍되어 있어 후천면역반응이 결여되어 있다. 이로 인해 백시니아 바이러스가 전신으로 확산되며 회복되지 못하고 사망에 이른다. Shearer 등[5]은 이러한 마우스 백시니아 모델에서 VIG를 백시니아 바이러스 감염 전후 다양한 시점(접종 전날, 접종 직후, 접종 1, 2, 4, 6, 8일차)에 각각 100 mg/kg 또는 400 mg/kg의 용량으로 정맥 투여한 후, 생존 기간과 사망률을 VIG의 효능평가의 지표로 사용하였다. 그 결과, 400 mg/kg 용량의 VIG를 감염 전날 또는 감염 직후에 투여할 경우 투여하지 않은 그룹에 비해 사망률이 80%까지 감소했으며, 100 mg/kg 또는 400 mg/kg 용량의 VIG를 감염 후 1-4일 이내 투여 시 생존 기간이 유의미하게 연장됨을 확인하였다. 반면, 감염 후 6일 이후에 투여한 경우에는 생존율 개선 효과가 나타나지 않았다. 결과적으로 마우스 꼬리 병변 모델은 면역정상인 마우스의 꼬리 병변 수 감소, 마우스 치사 모델은 중증복합면역결핍 상태인 SCID 마우스의 생존 기간 연장 및 치사율 감소를 통해 VIG의 백시니아 바이러스에 대한 감염 억제 효과를 평가할 수 있는 동물 모델로 확인하였다[5].

McCausland 등[6]과 Crickard 등[7]은 백시니아증 치료제인 VIG를 대체하기 위한 치료제 후보 물질로서 인간 단클론항체(human monoclonal antibody, hmAb)의 효능 평가를 위해 SCID 마우스에 백시니아 바이러스 감염을 통한 진행성 백시니아 마우스 모델을 사용하였다. 진행성 백시니아 마우스 모델에서 VIG와 hmAb의 백시니아 바이러스 감염억제 효능 비교 평가를 위해 감염 전 또는 감염 후 24시간에 SCID 마우스의 복강 내로 VIG 또는 백시니아 바이러스의 H3 및 B5 항원 단백질에 대한 항-H3 및 항-B5 hmAb를 투여한 후, 백시니아 바이러스(WR 또는 ACAM2000주) 1×10^4 또는 5×10^4 PFU를 정맥 경로를 통해 감염하였다. 항-H3 hmAb인 hV26의 경우 체중 감소 억제, 생존 기간 연장, 병변 수 감소에 있어, VIG와 유사한 효능을 보였다. 항-B5 hmAb h101 또한 병변 수를 감소하고 생존 기간을 연장시키며, VIG와 동등하거나 보다 우수한 효과를 나타냈다. 특히 두 항체(hV26, h101)를 복합으로 저용량($50 \mu\text{g}/\text{마우스}$) 투여한 경우에는 단일항체 또는 VIG보다 더 강력한 감염에 대한 억제 효과를 보였으며, 이는 체중 감소의 억제, 병변 발생 억제, 생존을 향상 모두 통계적으로 유의미한 개선을 나타내었다. 이러한 연구 결과는 항-H3와 항-B5 hmAb가 진행성 백시니아에 대한 치료제로서, 기존의 VIG를 대체할 수 있는 가능성을 보여준다. 이러한 연구 결과는 SCID 마우스 백시니아 모델이 두창 백신의 부작용 및 백시니아 치료제 후보물질의 효능을 평가하는 것에 유용하게 사용될 수 있음을 보여준다[6,7].

Zaitseva 등[8]은 진행성 백시니아에 대한 mAb의 치료 효능을 평가하기 위해 BALB/c nu/nu 마우스를 이용한 생체발광 기반 백시니아 바이러스 감염 마우스 모델을 확립하였다. 백시니아 바이러스 감염증의 하나인 진행성 백시니아 마우스 모델은 면역결핍 상태의 BALB/c nu/nu 마우스의 꼬리 기저부 피부에 루시페라제(luciferase) 유전자가 삽입된 재조합 백시니아 바이러스인 IHD-Japan (IHD-J)-Luc 백시니아 바이러스 10^5 PFU를 분지침(bifurcated vaccination needle)을 이

용하여 상처를 내는 방식(scarification)으로 감염한다. 감염 후 바이러스는 꼬리 기저부에서 빠르게 복제되어, 감염 후 1일에는 루시페라제의 발현에 따른 강한 생체발광 신호가 감염 부위에서 관찰되었다. 또한 바이러스는 동시에 감염 후 3일 이내에 서혜부 림프절을 거쳐 비장, 간, 액와 림프절로 빠르게 확산되었다. 병리학적으로는 감염 후 6일 차부터 감염 부위에 피부 병변이 관찰되었으며, 체중 감소는 감염 14일 이후에 관찰되었다. 이 모델을 활용하여 진행성 백시니아에 대한 mAb의 치료 효능을 평가하기 위해 감염 24시간 이후에 백시니아 바이러스 항원 단백질 B5와 L1에 대한 항-B5 mAb (h101) 및 항-L1 mAb (M12B9) 또는 이 두 mAb를 복합으로 복강 내 투여한 결과, 항-B5 또는 항-L1 mAb를 단일 투여한 경우 대조군에 비해 통계적으로 유의미한 백시니아 억제 효과는 나타나지 않았다. 그러나 두 항체를 복합 투여한 경우에는 대조군에 비해 생존 기간이 유의미하게 연장되었으며, 감염 부위와 비장, 간, 서혜부 림프절, 액와 림프절에서의 바이러스 복제도 유의미하게 감소함을 확인하였다. 이러한 결과는 이 모델이 진행성 백시니아에 대한 mAb의 감염억제와 치료 효능 평가 연구에 사용 가능하며, 두창 백신 부작용 치료제 개발에 있어 비임상시험 동물 모델로 활용될 수 있음을 보여준다[8].

Zhang 등[9]은 두창 백신의 신경독성을 평가하기 위한 마우스 모델을 확립하였다. 생후 3일 된 CD-1 마우스에 다양한 백시니아 바이러스 (Modified Vaccinia Ankara [MVA], Dryvax, Lister, Copenhagen, IHD-J, WR strains) 10^0 - 10^5 PFU 또는 focus-forming units/ $10 \mu\text{L}$ 를 뇌 내(intracerebral) 접종으로 감염 후 28일 동안 질병 징후 및 사망률을 관찰한 결과, MVA주 또는 음성대조물질을 접종한 마우스는 사망하지 않았고 질병 징후도 보이지 않았다. 반면, 다른 백시니아 바이러스(Dryvax, Lister, Copenhagen, IHD-J, WR)를 접종한 마우스는 바이러스 감염 후 2-6일 이내에 탈수, 무기력, 뒷다리 마비, 발작, 외부 자극에 대한 반응 부족, 사망 등을 나타냈으며, 바이러스 균주 및 바이러스 투여량에 따라 다른 정도

로 나타났다. 이러한 결과는 이 마우스를 이용한 실험방법이 두창 백신주를 포함한 백신이나 바이러스가 사람에게서 신경 독성을 나타낼 수 있는 잠재성을 평가할 수 있는 실험동물 모델임을 나타낸다[9].

2. 토끼 모델

토끼는 백신이나 바이러스 감염에 감수성이 매우 높은 동물이다. BALB/c 마우스의 경우 치명적인 감염을 유발하기 위해 비강을 통해 10^4 – 10^5 PFU의 높은 용량의 바이러스를 접종해야 하며, 원숭이도 마찬가지로 10^7 – 10^9 PFU의 매우 높은 용량의 바이러스를 정맥 또는 비강으로 접종해야 백신이나 바이러스 감염 증상을 나타낸다. 그러나 토끼(체중 약 1.7–2.2 kg)는 다른 동물들에 비해 상대적으로 50 – 10^3 PFU의 적은 양의 바이러스로도 치명적인 감염을 일으킬 수 있어 백신이나 연구에 적합한 동물 모델이다[10]. 백신이나 바이러스 및 토끼두창 바이러스(rabbitpox virus) 감염 토끼 모델은 9주령 또는 6개월령의 암컷 뉴질랜드 화이트 토끼에게 에어로졸, 피내 및 각막 접종을 통해 바이러스를 감염시키는 방식으로 백신이나 및 토끼두창을 유발한다[10,11].

백신이나 바이러스(WR strain) 감염에 대한 토끼 모델에서의 병리학적 특징은 바이러스 감염 후 여러 단계의 임상 변화를 거쳐 매우 치명적인 전신성 질병을 유발한다. 토끼에게 백신이나 바이러스를 피내 주사한 후 처음 나타나는 징후는 접종 부위에 작은 붉은색 피부 부종이며, 이는 일반적으로 백신이나 바이러스 감염에서 보이는 초기 증상이다. 이 병변은 시간이 지나면서 괴사와 농포로 발전하고, 크기도 계속 커진다. 9주된 어린 토끼는 바이러스 감염 후 3–5일 사이에, 6개월된 토끼는 바이러스 감염 후 4–7일 사이에 고열(40도 이상)과 체중 감소가 동시에 나타나며, 이는 사망할 때까지 계속된다. 체온 급상승 후 2–3일에는 눈꺼풀, 코, 입, 생식기, 항문 부위에 2차 병변이 처음 나타나며, 바이러스 감염 후 6–8일째에는 2차 병변이 귀와 몸통 등 다른 피부 부위에서도 나타나기 시작

한다. 호흡기 증상은 바이러스 감염 후 5–7일 사이에 처음 나타나며, 초기에는 맑은 비강 분비물과 가벼운 호흡곤란이 나타난다. 그러나 증상이 급격히 악화되어 감염 7–9일에는 심각한 폐음, 다량의 농양 분비물, 개구호흡, 호흡수가 분당 40회 미만으로 심각한 호흡곤란이 발생한다. 결국 바이러스 감염 후 9–10일째에 대부분의 토끼들이 사망한다[4,10].

한편, 토끼두창 바이러스는 올소포스바이러스이며 백신이나 바이러스와 95% 이상의 유전자 염기서열의 유사성을 가진다. 이러한 토끼두창 바이러스 감염에 대한 토끼 모델에서의 병리학적 특징은 백신이나 바이러스 감염 토끼 모델과 유사하게 바이러스를 피내 접종 시 치명적인 전신성 질병을 유발한다. 토끼에게 토끼두창 바이러스 1,000 PFU를 피내 주사하면, 초기에는 접종 부위에 붉은 부종이 나타나고, 이 병변은 계속 커져 농포성, 검은색 괴사성으로 발전한다. 바이러스 감염 후 3–4일에 체온 상승 및 체중 감소가 나타나며 이러한 증상은 사망할 때까지 계속된다. 9주령의 어린 토끼의 경우 바이러스 감염 후 8일째에 바이러스에 감염되지 않은 대조군에 비해 체중이 약 23% 감소를 나타낸다. 그러나 6개월령 토끼는 9주령 토끼에 비해 체중 감소가 심하지 않았다. 접종 부위 이외의 2차 병변은 바이러스 감염 후 4–5일에 처음 눈꺼풀, 코, 입, 생식기 및 피부에 나타났으며 9주령의 어린 토끼의 일부는 바이러스 감염 후 6–8일에 피부 전체에 발진을 보였다. 호흡기 증상은 바이러스 감염 후 7–8일에 개구 호흡, 극심한 호흡곤란을 보였다. 바이러스 감염 후 9–10일째에 대부분의 토끼들이 사망하였다[4,10].

Adams 등[10]은 hexadecyloxypropyl-cidofovir (HDP-CDV)의 바이러스 감염 억제 효능을 평가하기 위해 토끼두창 바이러스 감염 토끼 모델을 활용하였다. 토끼에 토끼두창 바이러스 500 PFU로 감염을 유도하고, HDP-CDV를 바이러스 감염 1일 전부터 5일 동안 하루 두 번 1 mg/kg 또는 5 mg/kg을 경구 투여하였다. 그 결과, 모든 그룹에서 바이러스 감염의 첫 징후는 바이러스 감염 후 1–3일 사이에 접종 부위에 붉은

부종이 나타났다. 위약 투여그룹과 1 mg/kg 투여그룹은 바이러스 감염 후 3일에 40도 이상으로 체온이 상승하였다. 반면, 5 mg/kg 투여그룹은 바이러스 감염 후 6일까지 체온이 상승하지 않았다. 1 mg/kg 투여그룹은 바이러스 감염 후 6일에 처음으로 눈꺼풀, 몸통, 코, 입, 귀에 2차 병변이 나타났으며 바이러스에 감염되지 않은 대조군에 비해 약 19%의 체중 감소를 보였다. 반면, 5 mg/kg 투여그룹은 귀와 눈꺼풀에 5개 미만의 2차 병변이 나타났으며 대조군만큼 체중이 증가하지는 않았지만 바이러스 감염 후 체중이 계속 증가하였다. 이는 HDP-CDV 고용량(5 mg/kg) 투여 시에는 치명적인 질환으로부터 완전히 보호될 수 있음을 시사한다[10].

따라서 토끼는 매우 낮은 용량의 백시니아 바이러스의 감염에 의해서도 피부 병변, 호흡기 증상 및 전신 감염 등을 유발하며, 인간 두창과도 유사한 병리학적 특징을 재현할 수 있는 민감한 동물 모델이므로 항바이러스 치료제와 백신의 효능을 평가하는 데 적합한 소동물 모델이다.

3. 원숭이 모델

마우스와 같은 소동물 모델은 다수의 동물을 사용할 수 있으며, 유지 관리 비용 또한 원숭이 모델과 비교하여 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 소동물 모델은 인간에게서 발생하는 수많은 생물학적 현상을 완벽하게 재현하기 어려운 한계가 있다. 반면, 원숭이 모델은 인간과 유전적, 생리적 및 병리학적 반응이 유사하여 사람에게 사용하기 위한 백신 또는 치료제의 효능 등을 평가하는 데 적합하며, 이에 따라 원숭이 모델은 백시니아 바이러스와 같은 올소폭스바이러스의 감염 연구에서 중요한 동물 모델로 활용되고 있다[2]. 두창과 일부 유사한 증상을 보이는 올소폭스바이러스인 원숭이두창 바이러스에 감염된 원숭이 모델은 리서스 원숭이 또는 시노몰구스 원숭이에 주로 정맥 주사, 기관 내 접종 또는 에어로졸을 통해 바이러스를 감염시키는 방식으로 구축된다. 올소폭스바이러스 감염 경로에 따라 동물 모델의 병리학적 양상에 영향을 미친다[2,4].

원숭이에서 원숭이두창 바이러스의 감염 경로에 따라 나타나는 병리학적 양상을 소개하고자 한다.

1) 정맥(intravenous) 감염

원숭이두창 바이러스를 희석한 후 정맥에 주사한 결과, 7-14일 이내에 사망에 이를 정도의 치명적인 질병이 유발되며, 전신성 수포와 농포성 발진 및 림프절 종대 등이 나타난다. 이는 인간 두창과 매우 유사한 급성 질환을 유발한다. 이 모델은 두창의 자연 감염 경로와는 다르지만 DNA 백신 및 항바이러스 치료제의 효능을 평가하는데 사용될 수 있다[2,4].

2) 기관(respiratory tract) 내 접종

기관 내 감염 모델은 바이러스를 기관에 직접 주입하여 호흡기를 통한 감염을 유도하는 방식으로, 기관지경에 부착된 미세분무기를 통해 정확한 용량의 바이러스를 일정 부위에 용이하게 전달할 수 있다. 해당 경로를 통해 감염된 원숭이에서는 섬유소괴사성 기관지폐렴, 허, 림프절, 비장에 괴사성 병변, 림프구 감소, 피부의 증식성 및 괴사성 병변, 풍선성 병변과 세포질 내 봉입체가 관찰된다. 또한 전자현미경 분석을 통해 각질세포 및 폐포벽에서 바이러스 입자를 확인할 수 있다. 기관 내 감염은 호흡기 조직 손상의 위험이 있으나, 에어로졸 모델에 비해 바이러스의 측정이 가능하고 정확한 분포를 얻을 수 있다는 장점이 있다[2,4].

3) 에어로졸 감염

에어로졸 감염 모델은 특수 에어로졸 챔버를 이용해 바이러스를 공기 중에 에어로졸화하여 호흡기로 감염시키는 방식으로 인간 두창의 자연 감염 경로를 가장 유사하게 모사한다는 장점이 있다. 해당 경로를 통해 감염된 원숭이에서는 호흡기 점막에서 시작하여 국소 림프절로 전파된 후 단핵구세포 관련 바이러스혈증을 통해 바이러스가 전신으로 전파된다. 이는 인간 두창의 발병 기전과 유사하다. 사망의 주된 원인은 섬

유소괴사성 기관지폐렴이며 이는 치명적인 호흡기 손상을 초래한다. 림프 조직, 피부 및 점막 표면, 생식기관 등 다양한 기관에 걸쳐 괴사성 병변이 관찰되며 상피증식, 세포질 내 봉입체 또는 다핵 합포체 형성 등이 특징이다. 또한 면역조직화학 및 전자현미경 검사를 통해 형태학적 변화가 있는 조직에서 각각 항원과 바이러스 입자를 확인할 수 있다. 그러나 에어로졸 감염 모델은 기술적 복잡성과 특수 시설 및 장비가 요구되며 각 동물이 동일한 바이러스 용량을 흡입했는지의 확인이 어려운 단점이 있다[2,4].

원숭이두창 감염에 대한 원숭이 모델은 다양한 접종 경로를 통해 인간에서 나타나는 두창의 병리 양상을 유사하게 재현할 수 있으며, 감염 경로에 따라 병변의 위치와 형태, 중증도에 차이를 보인다. 정맥 접종은 전신 질병 모델로 적합하며, 호흡기 경로(에어로졸, 기관 내 접종)는 두창의 자연 감염 경로를 모사하는 데 유리하다. 각 감염 경로의 특성을 고려하여 목적에 따라 적절한 모델을 선택함으로써, 백신 및 치료제의 효과를 보다 정밀하게 평가할 수 있다.

논 의

두창 백신은 주성분으로 약독화 백시니아 바이러스가 사용된다. 따라서 1, 2세대 두창 백신의 경우 드물지만 접종을 통해 진행성 백시니아와 같은 심각한 이상반응을 유발하기도 한다. 한편 두창 바이러스를 이용한 생물테러의 가능성과 더불어 최근 원숭이두창과 같은 올소포스바이러스의 감염 사례가 증가함으로 인해 보다 안전한 두창 백신의 개발과, 백시니아 및 엠포스와 같은 올소포스바이러스 감염증에 대한 치료제 개발의 필요성은 더욱 높아지고 있으며, 이들의 안전성 및 효능 평가를 위한 동물 모델이 필요하다.

백시니아 바이러스 감염증인 백시니아 동물 모델은 두창 백신 접종 후 발생할 수 있는 이상반응에 대한 치료제(VIG, mAb 등)의 전임상 효능을 평가하기 위한 필수적인 연구 수단

이다. 마우스 모델은 가장 널리 활용되는 실험동물로, 다양한 계통과 면역 상태에 따라 폭넓은 연구에 활용될 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 면역정상 CD-1 마우스를 이용한 꼬리 병변 모델은 VIG의 백시니아에 대한 치료 효과를 꼬리에 발생하는 병변의 숫자 감소를 통해 평가할 수 있으며, SCID 마우스를 이용한 백시니아 바이러스 감염에 의한 치사 모델이나 진행성 백시니아 모델은 생존 기간과 체중 감소, 병변 확산 등의 지표를 통해 전신 감염에 대한 치료제의 효능을 평가할 수 있다. 또한 백시니아 바이러스 감염 전 또는 감염 후 항-백시니아 바이러스 mAb를 투여하는 연구를 통해 VIG를 대체할 수 있는 치료제로서 효능을 비교 평가할 수 있다. 이처럼 마우스 모델은 두창 백신 이상반응 등 백시니아 치료제의 효능 평가에 이용될 수 있다.

토끼 모델은 백시니아 바이러스의 감염에 높은 감수성을 나타내어, 낮은 용량의 바이러스만으로도 전신성 질병과 피부 병변, 호흡기 증상 등을 유발할 수 있다. 이러한 병리학적 특징은 인간 두창에서 나타나는 임상 양상과 유사하기 때문에 토끼 모델은 인간 질환의 병태생리를 보다 충실히 반영하는 중동물 모델로 활용될 수 있다. 특히 감염 진행과 병리 변화가 시간에 따라 명확하게 구분되며, 병변 분포 및 형태 등의 특징이 관찰 가능하다는 점에서 올소포스바이러스 감염에 대한 치료제의 효능 평가에 유리하다.

원숭이 모델은 인간과 유사한 생리적, 병리학적 반응을 나타내기 때문에 올소포스바이러스의 감염 경로, 병리 양상, 면역반응을 포괄적으로 재현할 수 있다. 특히 고용량 바이러스의 정맥 또는 에어로졸 감염을 통해 인간 두창의 급성 치명적 감염 경과를 재현하며, 사이토카인 폭풍, 출혈성 경향 등 중증 면역반응도 평가할 수 있다. 따라서 원숭이 모델은 백신 및 치료제의 최종 전임상 검증 단계에서 매우 강력한 평가 도구로 기능할 수 있으며, 특히 인간에서의 임상시험 자료를 보완하거나 대체할 수 있는 과학적 근거를 제공한다.

결론적으로, 마우스, 토끼, 원숭이와 같은 실험동물을 이

용한 다양한 백신이나 또는 올소폭스바이러스 감염 동물 모델은 각각의 장점과 한계를 지니고 있으며, 연구 목적과 개발 단계에 따라 상호보완적으로 활용될 수 있다. 면역학적 기전을 분석하고, 치료제의 효능을 체계적으로 입증하기 위해서는 다양한 모델을 종합적으로 활용할 필요가 있다. 이를 통해 향후 두창뿐만 아니라 원숭이두창 등 다양한 올소폭스바이러스 계열 감염 질환에 대한 효과적인 대응 전략을 마련하고, 새로운 치료제 및 백신 개발의 기반을 마련할 수 있을 것이다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

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

Author Contributions: Conceptualization: HJY, SEL. Data curation: HJY, SEL. Formal analysis: SEL, MJL. Writing – original draft: SEL, HJY. Writing – review & editing: JWK, MJL, HJY, YSC.

References

1. Eyler JM. Smallpox in history: the birth, death, and impact of a dread disease. *J Lab Clin Med* 2003;142:216-20.
2. Schmitt A, Mätz-Rensing K, Kaup FJ. Non-human primate models of orthopoxvirus infections. *Veterinary Sciences* 2014;1:40-62.
3. Mayr A. Smallpox vaccination and bioterrorism with pox viruses. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 2003;26:423-30.
4. Chapman JL, Nichols DK, Martinez MJ, Raymond JW. Animal models of orthopoxvirus infection. *Vet Pathol* 2010;47:852-70.
5. Shearer JD, Siemann L, Gerkovich M, House RV. Biological activity of an intravenous preparation of human vaccinia immune globulin in mouse models of vaccinia virus infection. *Antimicrob Agents Chemother* 2005;49:2634-41.
6. McCausland MM, Benhnia MR, Crickard L, et al. Combination therapy of vaccinia virus infection with human anti-H3 and anti-B5 monoclonal antibodies in a small animal model. *Antivir Ther* 2010;15:661-75.
7. Crickard L, Babas T, Seth S, Silvera P, Koriazova L, Crotty S. Protection of rabbits and immunodeficient mice against lethal poxvirus infections by human monoclonal antibodies. *PLoS One* 2012;7:e48706.
8. Zaitseva M, Thomas A, Meseda CA, et al. Development of an animal model of progressive vaccinia in nu/nu mice and the use of bioluminescence imaging for assessment of the efficacy of monoclonal antibodies against vaccinia B5 and L1 proteins. *Antiviral Res* 2017;144:8-20.
9. Zhang CX, Sauder C, Malik T, Rubin SA. A mouse-based assay for the pre-clinical neurovirulence assessment of vaccinia virus-based smallpox vaccines. *Biologicals* 2010;38:278-83.
10. Adams MM, Rice AD, Moyer RW. Rabbitpox virus and vaccinia virus infection of rabbits as a model for human smallpox. *J Virol* 2007;81:11084-95.
11. Altmann S, Emanuel A, Toomey M, et al. A quantitative rabbit model of vaccinia keratitis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:4531-40.

Review & Perspective

Experimental Animal Models for Research and Development of Smallpox Vaccines and the Therapeutic Antibodies for Orthopoxvirus-associated Infections

Sang Eun Lee , Jin-Won Kim , Minji Lee , Hwajung Yi , Yoon-Seok Chung* 

Division of High-risk Pathogens, Department of Laboratory Diagnosis and Analysis, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Objectives: Concerns regarding the misuse of the variola virus for bioterrorism and its re-emergence still prevail. The possibility of orthopoxvirus infection and epidemics in humans also exists, including the variola and monkeypox viruses. The latter causes mpox and has posed a global risk since 2022. Accordingly, there is an increasing need for research and development of vaccines and therapeutics for orthopoxviruses, driven by pathological understanding of their infection mechanism, including vaccinia and animal models of orthopoxviral infections. This study introduces methods for establishing animal models of orthopoxvirus-related infections and the pathological characteristics of these models.

Methods: Establishing animal models of orthopoxvirus infection was based on their pathological characteristics through reviews of related articles and examples of efficacy evaluations of vaccinia immunoglobulins and therapeutic monoclonal antibodies for the treatment of vaccinia virus infection using animal models of orthopoxvirus infections.

Results: Animal models of orthopoxvirus infection show various pathological aspects depending on the immune status and infection route, having been used in nonclinical trials or animal experiments to evaluate the efficacy of smallpox vaccines and therapeutic candidates. Monoclonal antibodies show potential to replace existing vaccinia immunoglobulins.

Conclusions: Animal models of orthopoxvirus-associated infection can improve our pathological understanding of orthopoxviral infections and be used to evaluate the efficacy of candidates in the development of vaccines and therapeutics for smallpox and orthopoxvirus-associated infections.

Key words: Vaccinia; Orthopoxvirus; Vaccinia immune globulin; Monoclonal antibodies; Animal models

*Corresponding author: Yoon-Seok Chung, Tel: +82-43-719-8270, E-mail: rollstone93@korea.kr

Introduction

Smallpox is a highly infectious viral disease that has caused a significant number of casualties in the past [1-3]. The World

Health Organization initiated a program to eradicate smallpox in 1967, and following the declaration of the disease's eradication in 1980, routine smallpox vaccination for the general population was gradually discontinued. Despite the lack of

Key messages

① What was known previously?

Therapeutic antibodies have been studied to replace vaccinia immunoglobulin, used to treat the adverse reactions of smallpox vaccines. Animal models of orthopoxvirus infections have been used to evaluate their efficacy.

② What new information is presented?

Rabbits are highly susceptible to the vaccinia virus; therefore, infection models can be established using small amounts of the virus. Monkeys are genetically similar to humans and exhibit similar pathological patterns, making them suitable for non-clinical experiments for vaccine and therapeutic development.

③ What are the implications of the findings?

Various animal models show potential for use in the research and development of vaccines for smallpox, as well as in the treatment of the adverse reactions of these vaccines.

reported cases of natural smallpox infections since that time, the smallpox virus has demonstrated a notable degree of environmental stability, accompanied by high infectivity and fatality rates, making it particularly susceptible to misuse in the context of bioterrorism. Consequently, smallpox vaccination is currently administered to initial-response personnel and laboratory workers researching orthopoxviruses (OPXVs), the family to which the smallpox virus belongs, as a precaution against potential bioterrorism threats.

Nevertheless, the possibility exists that bioterrorism could target large, unspecified populations, in which case mass vaccination with the smallpox vaccine might become necessary [2-4]. This scenario presents several critical challenges, including research on the pathogenicity of vaccinia virus (VACV), the primary component of smallpox vaccines; the development of

novel safer vaccines for high-risk populations such as immunocompromised individuals (including human immunodeficiency virus/acquired immunodeficiency syndrome patients and organ transplant recipients), patients with severe atopic dermatitis, and pregnant females; and the development of treatments for adverse reactions following smallpox vaccination.

Research on VACV is essential not only for effectively responding to the currently prevalent monkeypox virus (MPXV) but also for preparing against the potential emergence of other OPXV-related infectious diseases in the present and future. However, studies of VACV infection in humans are limited by ethical and safety concerns, necessitating the use of animal models in accordance with the US Food and Drug Administration animal testing regulations.

Monkeys, mice, rabbits, and other animals are frequently employed as models to study VACV infection. The use of these animal models allows researchers to evaluate the pathological characteristics of VACV infection, as well as the safety and efficacy of vaccines and therapeutic interventions, such as vaccinia immune globulin (VIG) and antibodies. Thus, they provide essential foundational resources for developing vaccines and therapeutic interventions for diseases analogous to those for VACV infections [2,4]. This article aimed to describe the methods for establishing VACV animal models, their pathological characteristics, and their applications in preclinical evaluations of VIG and therapeutic agents.

Animal Models of VACV and OPXV Infections

Mice (e.g., CD-1, severe combined immunodeficiency [SCID], or BALB/c), rabbits, and monkeys (e.g., macaques)

are primarily used as animal models for studying VACV and OPXV infections. The selection of an appropriate model depends on the specific research objective, including the evaluation of vaccine and therapeutic efficacy, investigation of pathological mechanisms, or examination of immune responses (Table 1).

1. Mouse Model

Mice are the most frequently used animal model in the study of VACV infection. Susceptibility and symptom patterns vary depending on the strain of mouse used (e.g., CD-1, SCID, or BALB/c), the type of VACV strain employed (e.g., International Health Division [IHD] or Western Reserve [WR]), and the route of viral infection (e.g., intravenous, intraperitoneal, subcutaneous, dermal, or intranasal) [4]. The examples of major VACV mouse models are described below.

Shearer et al. [5] established two types of VACV mouse models to evaluate the *in vivo* antiviral activity of VIG, which is used as a therapeutic agent for humans. The first model involves the induction of infection by injecting 7×10^4 plaque-forming units (PFU) of VACV into the tail vein of immunocompetent female CD-1 mice. The degree of infection is determined by the percentage of mice exhibiting 10 or more tail lesions by day 8 post-infection. Pathologically, lesions appear in multiple, discrete areas along the entire tail, reaching a peak between days 6 and 8 post-infection. Shearer et al. [5] assessed the efficacy of VIG intravenous (VIG-IV) in these mouse models by statistically analyzing the proportion of mice with 10 or more tail lesions. This assessment was conducted following intravenous administration of 100 mg/kg or 400 mg/kg at three distinct time points: pre-infection (the day before inoculation), post-infection (immediately after inoculation), and on day 1

Table 1. Comparison of animal models of vaccinia virus and orthopoxvirus infection

Division	Mouse model	Rabbit model	Monkey model
Species/strain	BALB/c, CD-1, SCID, nu/nu mice, etc.	New Zealand White rabbit	Rhesus monkeys, Cynomolgus monkeys, etc.
Route of infection	IV, IN, skin scarification, IP, etc.	ID, aerosol, corneal	IV, intratracheal, aerosol
Pathological features	Lesions, systemic infection and death, weight loss, etc.	Skin lesions at injection site→necrosis and pustules, high fever, weight loss, respiratory symptoms	Generalized vesicles, pustular rash, lymphadenopathy, pneumonia, necrotic lesions, lymphopenia, etc.
Advantages	Enables experimental designs reflecting various immune states, low cost, suitable for large-scale experiments	High susceptibility allows infection with low virus dose, pathology resembles human smallpox	Genetic, physiological, and pathological similarity to humans, clinical outcomes can be reproduced
Disadvantages	Limited in replicating human pathology	Maintenance and management complexity as a medium-sized animal	High cost, technical complexity, requires specialized facilities and equipment (for aerosol)
Main application	Efficacy evaluation of VIG and monoclonal antibodies	Antiviral drug and vaccine efficacy evaluation	Final preclinical efficacy testing, pathological characterization, analysis of severe immune responses

IV=intravenous; IN=intranasal; IP=intraperitoneal; ID=intradermal; VIG=vaccinia immune globulin.

post-infection. VIG-IV administered at doses of 100 mg/kg or 400 mg/kg significantly reduced the proportion of mice with 10 or more tail lesions when administered immediately after infection or within 1 day post-infection. However, starting from day 2 post-VACV infection, neither dose produced a statistically significant reduction in lesion numbers.

The second model is an infection model in which SCID mice are infected via intravenous injection of 3×10^4 PFU of VACV, resulting in 100% mortality within 45 days. SCID mice exhibit a congenital absence of both T-cells and B-cells, resulting in a complete absence of adaptive immune responses. This results in the dissemination of VACV throughout the host organism, causing irreversible damage and ultimately death.

Shearer et al. [5] used this vaccinia mouse model to assess the efficacy of VIG by administering it intravenously at doses of 100 mg/kg or 400 mg/kg at various time points before and after VACV infection: the day before inoculation, immediately after inoculation, and on days 1, 2, 4, 6, and 8 post-inoculation. Survival time and mortality rate were used as metrics to evaluate the efficacy of VIG. Consequently, the administration of VIG at a dosage of 400 mg/kg either the day before or immediately after infection reduced the mortality rate by up to 80% compared with that in the untreated group. Furthermore, administration of VIG at doses of 100 mg/kg or 400 mg/kg within 1 to 4 days post-infection significantly prolonged survival time. However, administration after day 6 post-infection did not improve survival rate. Thus, the mouse tail lesion model was validated as an animal model capable of evaluating the infection-suppressing effect of VIG against VACV in immunocompetent mice, as evidenced by a reduction in the proportion of tail lesions. Similarly, the mouse lethal model was validated as an animal model for assessing the efficacy of VIG in SCID

mice, as demonstrated by prolonged survival rate and reduced mortality rate in mice with SCID [5].

McCausland et al. [6] and Crickard et al. [7] employed a progressive vaccinia (PV) mouse model, generated by VACV infection in SCID mice, to evaluate the efficacy of human monoclonal antibodies (hmAbs) as therapeutic candidates to replace VIG, the standard treatment for VACV infection. For comparative evaluation of the efficacy of VIG and hmAb in suppressing VACV infection in a PV mouse model, SCID mice received intraperitoneal administration of VIG or anti-H3 and anti-B5 hmAbs, which target the H3 and B5 antigen proteins of VACV, either before infection or 24 hours post-infection. Subsequently, VACV (WR or ACAM2000 strain) was then injected intravenously at 1×10^4 or 5×10^4 PFU. The anti-H3 hmAb hV26 demonstrated efficacy comparable to that of VIG in suppressing weight loss, extending survival time, and reducing the proportion of lesions. The anti-B5 hmAb h101 effectively reduced the proportion of lesions and prolonged survival rate, with effects comparable to or exceeding those of VIG. Notably, the combination of the two antibodies hV26 and h101 at a low dose (50 µg/mouse) produced a more potent inhibitory effect against infection than either single antibody or VIG, resulting in statistically significant improvements across all three measures: suppression of weight loss, inhibition of lesion formation, and increased survival rate. These findings suggest that anti-H3 and anti-B5 hmAbs have potential as therapeutic agents capable of replacing VIG in the treatment of PV. These findings also demonstrate that the vaccinia models using SCID mice can be effectively used to evaluate the adverse reactions of smallpox vaccines and the efficacy of therapeutic candidates for vaccinia [6,7].

Zaitseva et al. [8] established a bioluminescence-based

VACV infection mouse model using BALB/c nu/nu mice to evaluate the therapeutic efficacy of mAbs against PV. This PV mouse model, one of the VACV infections, involves the use of a BALB/c nu/nu mice, which is an immunodeficient host. The immunodeficient state is established by scarifying the skin with a bifurcated vaccination needle to inoculate 10^5 PFU of IHD-Japan (IHD-J)-Luc VACV, a recombinant VACV containing the luciferase gene inserted into the skin at the base of the tail. Following the infection process, the virus underwent rapid replication at the tail base, producing a robust bioluminescent signal due to luciferase expression by day 1 post-infection. The virus then disseminates rapidly through the inguinal lymph nodes, reaching the spleen, liver, and axillary lymph nodes within a span of 3 days post-infection. Pathologically, the presence of skin lesions at the site of infection was observed on day 6 post-infection. Weight loss was observed after day 14 post-infection. Using this model, the therapeutic efficacy of mAbs against PV was evaluated by intraperitoneally administering anti-B5 mAb (h101) and anti-L1 mAb (M12B9) against VACV antigen proteins B5 and L1 or a combination of these two mAbs, 24 hours post-infection. As a result, a single administration of either anti-B5 or anti-L1 mAb did not produce a statistically significant suppression of VACV compared with that in the control group. However, the combined administration of both antibodies significantly prolonged survival rate and markedly reduced viral replication at the infection site, spleen, liver, inguinal lymph nodes, and axillary lymph nodes compared with that in the control group. These findings demonstrate the potential of this model to assess the infection-suppressing and therapeutic efficacy of mAbs against PV. Furthermore, it could serve as a nonclinical animal model for the development of treatments for adverse reactions associated

with smallpox vaccines [8].

Zhang et al. [9] established a mouse model to evaluate the neurotoxicity of smallpox vaccines. Three-day-old CD-1 mice were infected via intracerebral inoculation with various VACV strains—including Modified Vaccinia Ankara (MVA), Dryvax, Lister, Copenhagen, IHD-J, and WR—at doses ranging from 10^0 to 10^5 PFU or focus-forming units/10 μ L. Disease signs and mortality were monitored for 28 days post-infection. The mice inoculated with the MVA vaccine or a negative control substance exhibited no signs of disease and showed no mortality. In contrast, mice vaccinated with other VACV strains (Dryvax, Lister, Copenhagen, IHD-J, and WR) developed symptoms such as dehydration, lethargy, hindlimb paralysis, seizures, and unresponsiveness to external stimuli, with death occurring within 2 to 6 days post-infection. The severity of these symptoms was correlated directly with the viral strain and administered viral dose. These results indicate that this mouse model provides an effective experimental system for evaluating the potential neurotoxicity of VACV, including smallpox vaccine strains, in humans [9].

2. Rabbit Model

Rabbits are highly susceptible to VACV infection. Meanwhile, BALB/c mice require a high viral dose of 10^4 to 10^5 PFU administered intranasally to cause fatal infection. Similarly, monkeys require remarkably high viral doses of 10^7 to 10^9 PFU, administered intravenously or intranasally, to develop symptoms of VACV infection. By comparison, rabbits (weighing approximately 1.7–2.2 kg) have been shown to develop fatal infections with relatively low viral doses (50 – 10^3 PFU), making them suitable animal models for VACV research [10]. The employment of rabbit models of VACV and rabbitpox virus

(RPXV) infection have been established by infecting 9-week-old or 6-month-old female New Zealand White rabbits via aerosol, intradermal, or corneal inoculation, successfully inducing VACV infection and rabbitpox [10,11].

The pathological characteristics of VACV (WR strain) infection in a rabbit model involve multiple stages of clinical changes following viral infection, ultimately resulting in a highly fatal systemic disease. The first sign observed after intradermal injection of VACV in rabbits is a small red swelling at the injection site, which typically represents the initial symptom of VACV infection. This lesion evolves over time, progressing to necrosis and pustules, and continues to increase in size. In 9-week-old young rabbits, high fever (over 40°C) and weight loss occur simultaneously within 3 to 5 days post-infection, whereas in 6-month-old rabbits, these symptoms manifest within 4 to 7 days post-infection. These conditions persist until death. Secondary lesions initially appear on the eyelids, nose, mouth, genitals, and anal area 2 to 3 days after the abrupt elevation in body temperature. By days 6 to 8 post-infection, secondary lesions develop on other skin areas, including the ears and trunk. Initial respiratory symptoms appear between days 5 and 7 post-infection, presenting as clear nasal discharge and mild shortness of breath. However, the symptoms rapidly worsen, and by days 7 to 9 post-infection, severe lung sounds, copious purulent secretions, open-mouth breathing, and a respiratory rate below 40 breaths per minute are observed, leading to severe respiratory distress. Most rabbits ultimately die around days 9 to 10 post-infection [4,10].

RPXV belongs to the genus *Orthopoxvirus* and shares more than 95% genetic sequence similarity with VACV. The pathological characteristics of RPXV infection in a rabbit model are analogous to those observed in a VACV infection

rabbit model, resulting in a fatal systemic disease following intradermal inoculation of the virus. When 1,000 PFU of RPXV is injected intradermally into rabbits, an initial red swelling appears at the injection site. This lesion enlarges further and evolves into a pustular, black necrotic lesion. By days 3 to 4 post-infection, symptoms such as fever and weight loss emerge and persist until the eventual outcome of death. In 9-week-old young rabbits, body weight decreases by approximately 23% on day 8 post-infection compared with that in uninfected controls, whereas weight loss in 6-month-old rabbits is relatively less pronounced. Secondary lesions beyond the vaccination site first appear on the eyelids, nose, mouth, genitals, and skin between days 4 and 5 post-infection. Some 9-week-old young rabbits develop a rash covering the entire skin by days 6 to 8 post-infection. Respiratory symptoms appear between days 7 and 8 post-infection, presenting as open-mouth breathing and severe respiratory distress. Most rabbits succumb to infection on days 9 to 10 post-infection [4,10].

Adams et al. [10] employed a rabbit model infected with RPXV to assess the effectiveness of hexadecyloxypropyl-cidofovir (HDP-CDV) in suppressing viral infection. Rabbits were infected with 500 PFU of RPXV, and HDP-CDV was administered orally at 1 mg/kg or 5 mg/kg twice daily for five days, beginning 1 day prior to viral infection. The initial sign of viral infection in all groups was a red swelling at the injection site, appearing between days 1 and 3 post-infection. In the placebo group and the 1 mg/kg HDP-CDV group, body temperature increased to 40°C or higher by day 3 post-infection. In contrast, rabbits in the 5 mg/kg HDP-CDV group showed no increase in body temperature up to day 6 post-infection. The 1 mg/kg HDP-CDV group initially developed secondary lesions on the eyelids, trunk, nose, mouth, and ears by day

6 post-infection, accompanied by approximately 19% weight loss compared with the uninfected controls. By comparison, the 5 mg/kg HDP-CDV group developed fewer than five secondary lesions on the ears and eyelids. Although their weight gain did not reach that of the control group, these rabbits continued to gain weight after infection. These findings suggest that administration of HDP-CDV at a high dose (5 mg/kg) can provide complete protection against fatal RPXV infection [10].

Therefore, rabbits are a sensitive animal model, capable of reproducing skin lesions, respiratory symptoms, and systemic infections even with infection by a very low dose of VACV. They also exhibit pathological features similar to those of human smallpox, making them a suitable small animal model for evaluating the efficacy of antiviral therapeutics and vaccines.

3. Monkey Model

The use of small animal models, such as mice, offers several advantages, such as the ability to employ a large number of animals and the mitigation of maintenance costs compared with that when using monkey models. However, small animal models have inherent limitations and cannot fully replicate the several complex biological phenomena observed in humans. Monkey models, in contrast, exhibit substantial genetic, physiological, and pathological similarities to humans, making them well-suited for evaluating the efficacy of vaccines and therapeutic interventions intended for human application. Consequently, monkeys serve as important animal models in infection studies of OPXVs, such as VACV [2]. Monkey models of MPXV, an OPXV that produces symptoms similar to those of smallpox, are typically established by infecting rhesus or cynomolgus monkeys with the virus via intravenous injection, intranasal inoculation, or aerosol administration. The

route of OPXV infection has been shown to significantly influence the pathological manifestations observed in these animal models [2,4]. In the following sections, we introduce the pathological manifestations observed in monkeys according to the route of MPXV infection.

1) Intravenous infection

Following the dilution of MPXV and its subsequent intravenous injection, the virus has been known to induce a fatal disease, often resulting in death within 7 to 14 days. This is accompanied by systemic vesicular and pustular rashes, as well as lymphadenopathy, producing an acute disease that is highly analogous to human smallpox. Although this model differs from the natural infection pathway of smallpox, it can be used to assess the efficacy of DNA vaccines and antiviral therapeutics [2,4].

2) Respiratory tract administration

The respiratory tract infection model involves direct injection of the virus into the respiratory tract to induce infection. The use of a micro-atomizer attached to a bronchoscope enables precise and rapid delivery of a specified viral dose to a target region. Monkeys infected via this route develop fibrinous necrotizing bronchopneumonia, necrotic lesions in the tongue, lymph nodes, and spleen, lymphopenia, proliferative and necrotic skin lesions, abnormal tissue ballooning, and cytoplasmic inclusions. Furthermore, virus particles can be detected in keratinocytes and alveolar walls using electron microscopy. While respiratory tract infections pose a risk of tissue damage, they allow for accurate measurement of viral load and detailed mapping of viral distribution, offering advantages over aerosol models [2,4].

3) Aerosol infection

The aerosol infection model has been demonstrated to offer a superior degree of simulation of the natural route of human smallpox infection. The virus is aerosolized using a specialized aerosol chamber, leading to respiratory tract infection. In monkeys infected via this route, the virus spreads from the respiratory mucosa to local lymph nodes and then disseminates systemically via monocyte-associated viremia. This phenomenon closely resembles the pathogenesis of human smallpox. Mortality is primarily caused by fibrinonecrotic bronchopneumonia, resulting in fatal respiratory damage. Necrotic lesions are observed in multiple organs, such as lymphoid tissue, skin, mucosal surfaces, and reproductive organs. Key pathological features of this condition include epithelial hyperplasia, presence of cytoplasmic inclusions, and formation of multinucleated syncytia. Immunohistochemical and electron microscopic analyses can detect viral antigens and particles in tissues exhibiting morphological changes. However, aerosol infection models are associated with certain disadvantages, including technical complexity, the need for specialized facilities and equipment, and difficulty in ensuring that each animal receives the same viral dose [2,4].

The monkey model for MPXV infection has been demonstrated to reliably reproduce the pathological features of smallpox observed in humans through various inoculation routes. The location, morphology, and severity of lesions in this model vary depending on the route of infection. Intravenous inoculation serves as a suitable model for systemic disease, while respiratory routes (aerosol or intranasal) are advantageous for simulating the natural transmission of smallpox. Selecting the appropriate model based on the research purpose and characteristics of each transmission route allows for a more precise

evaluation of vaccine and therapeutic efficacy.

Discussion

The smallpox vaccine uses attenuated VACV as its active ingredient. Although rare, first- and second-generation smallpox vaccines have been associated with serious adverse reactions, including PV following vaccination. The potential for bioterrorism involving the smallpox virus, combined with the recent increase in infection cases of OPXVs such as MPXV, has increased the need for the development of safer smallpox vaccines and effective treatments for OPXV infections, such as vaccinia and monkeypox. The use of animal models is essential for evaluating the safety and efficacy of these interventions.

The vaccinia animal model for VACV infection is a critical research tool for assessing the preclinical efficacy of therapeutic agents (e.g., VIG or mAbs) against adverse reactions that may occur following smallpox vaccination. Mice are the most commonly used laboratory animals, offering the advantage of enabling diverse research across various strains and immune statuses. For example, the tail lesion model using immunocompetent CD-1 mice allows for the evaluation of VIG's therapeutic efficacy against vaccinia by observing reductions in the number of tail lesions. Lethal VACV infection or PV models using SCID mice are employed to assess the efficacy of therapeutic agents against systemic infection through indicators such as survival time, weight loss, and lesion progression. Furthermore, studies administering anti-VACV mAbs either pre- or post-VACV infection can comparatively evaluate their potential as therapeutic alternatives to VIG. Thus, the mouse model serves as an effective platform for assessing the efficacy of therapeutic interventions against vaccinia, including potential adverse

reactions to smallpox vaccines.

Rabbit models exhibit a high degree of susceptibility to VACV infection, displaying systemic disease, skin lesions, and respiratory symptoms even at low viral doses. These pathological features closely resemble the clinical manifestations observed in human smallpox, thereby establishing the rabbit model as a reliable system for reflecting the pathophysiology of human disease. The progression of infection and the resulting pathological changes can be clearly monitored over time. Moreover, characteristics such as lesion distribution and morphology can be observed, making the rabbit model particularly useful for evaluating the efficacy of therapeutic agents against OPXV infection.

The monkey model has been shown to replicate the infection route, pathological features, and immune responses of OPXVs comprehensively, as it exhibits physiological and pathological responses that are similar to those in humans. Specifically, it reproduces the acute, often fatal course of human smallpox through intravenous or aerosol infection with high-dose viruses, enabling the assessment of severe immune responses, such as cytokine storms and hemorrhagic tendencies. Therefore, the monkey model serves as a highly robust tool for final preclinical validation of vaccines and therapeutics, providing scientific evidence that can supplement or, in some cases, replace clinical trial data in humans.

In conclusion, various animal models of vaccinia or OPXV infection—using laboratory animals such as mice, rabbits, and monkeys—each have distinct advantages and limitations. They can be employed in a complementary manner, depending on the specific objectives of the research and the stage of development. Comprehensive utilization of these models is essential to analyze immunological mechanisms and systematically

evaluate the efficacy of therapeutic agents. Such an approach facilitates the development of effective countermeasures against smallpox and other OPXV infections, such as monkeypox, thereby laying the foundation for novel therapeutic interventions and vaccines.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

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

Author Contributions: Conceptualization: HJY, SEL. Data curation: HJY, SEL. Formal analysis: SEL, MJL. Writing – original draft: SEL, HJY. Writing – review & editing: JWK, MJL, HJY, YSC.

References

1. Eyler JM. Smallpox in history: the birth, death, and impact of a dread disease. *J Lab Clin Med* 2003;142:216–20.
2. Schmitt A, Mätz-Rensing K, Kaup FJ. Non-human primate models of orthopoxvirus infections. *Veterinary Sciences* 2014;1:40–62.
3. Mayr A. Smallpox vaccination and bioterrorism with pox viruses. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 2003;26:423–30.
4. Chapman JL, Nichols DK, Martinez MJ, Raymond JW. Animal models of orthopoxvirus infection. *Vet Pathol* 2010;47:852–70.
5. Shearer JD, Siemann L, Gerkovich M, House RV. Biological activity of an intravenous preparation of human vaccinia immune globulin in mouse models of vaccinia virus infection. *Antimicrob Agents Chemother* 2005;49:2634–41.
6. McCausland MM, Benhnia MR, Crickard L, et al. Com-

- ination therapy of vaccinia virus infection with human anti-H3 and anti-B5 monoclonal antibodies in a small animal model. *Antivir Ther* 2010;15:661-75.
7. Crickard L, Babas T, Seth S, Silvera P, Koriazova L, Crotty S. Protection of rabbits and immunodeficient mice against lethal poxvirus infections by human monoclonal antibodies. *PLoS One* 2012;7:e48706.
 8. Zaitseva M, Thomas A, Meseda CA, et al. Development of an animal model of progressive vaccinia in nu/nu mice and the use of bioluminescence imaging for assessment of the efficacy of monoclonal antibodies against vaccinia B5 and L1 proteins. *Antiviral Res* 2017;144:8-20.
 9. Zhang CX, Sauder C, Malik T, Rubin SA. A mouse-based assay for the pre-clinical neurovirulence assessment of vaccinia virus-based smallpox vaccines. *Biologicals* 2010;38:278-83.
 10. Adams MM, Rice AD, Moyer RW. Rabbitpox virus and vaccinia virus infection of rabbits as a model for human smallpox. *J Virol* 2007;81:11084-95.
 11. Altmann S, Emanuel A, Toomey M, et al. A quantitative rabbit model of vaccinia keratitis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:4531-40.

국내외 감염병 위험평가체계 비교 분석: 질병관리청의 현황과 고도화 방향

이정현[†] , 조유진[†] , 박신영 , 김성순*

질병관리청 질병데이터과학분석관 역학데이터분석담당관

초 록

목적: 반복되는 감염병 유행 속에서 과학적 근거에 기반한 신속한 위험평가체계 구축은 국가 방역의 핵심 요소이다. 본 보고서는 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC), 유럽 질병예방통제센터(European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC), 대한민국 질병관리청(Korea Disease Control and Prevention Agency)의 감염병 위험평가체계를 비교 분석하여 국내 체계의 현황과 향후 정책적 고도화 방향을 제시하고자 하였다.

방법: 각 기관의 공식 매뉴얼 및 운영 문서를 바탕으로 위험평가 시기, 적용대상, 평가방법, 활용방식 등 문헌고찰 기반의 비교 분석을 수행하였다.

결과: 세 기관 모두 감염병의 유행 초기 단계에서 전문가 중심의 위험평가체계를 운영하며, 감염병의 발생가능성과 건강·사회적 영향력을 주요 평가요소로 설정하는 공통점이 있었다. 특히, 대한민국 질병관리청은 정기적인 매뉴얼 개정과 질환군별 세분화된 평가지표 마련 등 체계 정비를 지속해왔다. 반면에, 미국 CDC와 유럽 ECDC는 결과의 과학적 근거수준을 명시하고, 평가결과를 국민에게 시각적으로 공개하는 점에서 차별화된다.

결론: 대한민국 질병관리청은 국제 수준의 기본 체계를 갖추고 있으나, 향후 평가자료의 근거수준 명시, 정량적인 평가도구 도입, 대국민 정보공개 등을 통해 정책적 활용성과 국민 신뢰도를 제고할 수 있다.

주요 검색어: 감염병 유행; 비교분석; 해외 감염병

서 론

코로나바이러스감염증-19(코로나19) 유행 이후 기후변화, 국제무역 확대, 해외여행 증가 등 복합 요인으로 해외감염병의 국내 유입 위험이 지속적으로 증가하고 있다. 실제로, 국내 해외유입 감염병 사례는 2020년 5,495명에서 2021년

11,989명, 2022년 56,037명으로 매년 증가하였고, 코로나19를 제외한 해외유입 사례만 보더라도 2023년 389명에서 2024년 606명으로 약 55.8% 증가하였다[1].

세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 감염병의 확산에 대한 국제사회 대응을 강화하고자 국제보건규약(International Health Regulation)을 제정하여 사건기반 감

Received August 18, 2025 Revised September 26, 2025 Accepted September 29, 2025

*Corresponding author: 김성순, Tel: +82-43-719-7950, E-mail: sskim0719@korea.kr

[†]이 저자들은 본 연구에서 공동 제1저자로 기여하였음.

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?

대한민국 질병관리청은 해외감염병의 국내 유입 위험을 최소화하기 위해 사건기반 감시체계(event-based surveillance)를 통해 자료를 수집하고, 우리 국민의 감염병 발생가능성과 영향력을 평가하여 방역대책의 의사결정을 지원해왔다.

② 새로이 알게 된 내용은?

해외 주요기관은 평가결과의 정확성을 확보하고 감염병 예방 효과를 극대화하기 위해 수집한 자료의 근거수준을 평가하고 있으며, 공식 홈페이지 통해 평가결과를 공개함으로써 객관성을 제고하고 있다.

③ 시사점은?

대한민국 질병관리청은 평가결과의 신뢰도를 높이고, 감염병의 예방 효과를 극대화하기 위해 수집한 자료의 정확성과 향후 변동가능성 등을 고려하여 근거수준을 평가하고, 위험평가결과의 시각화 및 대국민 공개를 추진할 필요가 있다. 더불어, 정책적 수요에 따라 정량적 평가도구를 개발하고 다학제 전문가 협업체제를 구축하여 객관성을 확보해야 한다.

시체계(event-based surveillance, EBS), 위험평가, 대응 체계의 중요성을 강조하고 있다[2]. 또한, 회원국의 공중보건 대응역량을 객관적으로 검증하는 합동외부평가(Joint External Evaluation)를 통해 해외감염병의 감시 및 위험평가체계 등을 강조하고 있다[3]. 대한민국 질병관리청(Korea Disease Control and Prevention Agency)은 이러한 국제적 흐름에 맞춰 해외감염병의 국내 유입을 신속하게 대응하고자 감염병 위험평가를 수행하고 있다.

감염병 위험평가는 공중보건을 위협할 수 있는 감염병 발생 사건이 국내에 미치는 위험수준을 과학적으로 평가하고, 결과를 토대로 대응 전략과 정책 결정을 지원하는 활동을 말한다. 현재 대한민국 질병관리청은 국제 보건기구의 공식자료와 함께 각종 웹사이트 및 언론보도 등 다양한 자료를 모니터링하는 EBS를 통해 감염병 정보를 수집하고 있으며, 이를 기반으로 일반 국민의 감염병 발생가능성과 영향력을 평가하고,

그 결과를 관련 부서에 공유하여 자원 배분의 우선순위 설정 및 검역관리지역 지정 등 과학적 근거에 기반한 방역 의사결정을 지원하고 있다[4].

실제로, 2015년 중등호흡기증후군(메르스)이 국내에서 유행 후 대한민국 질병관리청은 감염병 위험평가체계를 본격적으로 수행한 결과, 코로나19 유행 초기에도 신속한 상황 판단과 전략 수립에 기여하였다[5]. 이 보고서는 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC), 유럽 질병예방통제센터(European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC) 및 대한민국 질병관리청의 감염병 위험평가체계를 비교하여 국내 위험평가체계의 현황을 진단하고, 향후 고도화 방향과 정책적 개선안을 제시하고자 한다.

방 법

대한민국 질병관리청의 감염병 위험평가체계 현황을 진단하고, 고도화 방향과 정책적 개선안을 제시하고자 미국 CDC의 예측 및 유행분석 센터(Center for Forecasting and Outbreak Analytics)의 Risk Assessments [6]와 유럽 ECDC rapid risk assessments [7]를 분석대상으로 선정하였다. 각 기관의 공식 홈페이지 및 관련 보고서 등을 통해 자료를 수집하였고, 위험평가 시기, 적용대상, 평가방법, 활용방식 등을 기

표 1. 감염병 위험평가체계 비교 기준

기준	세부 내용
위험평가 시기	감염병 위험평가를 수행하는 시기는 언제인가?
위험평가 적용대상	감염병 위험평가에 적용되는 대상은 누구인가?
위험평가 방법	감염병 위험평가는 어떤 절차로 수행하며, 무엇을 평가하는가?
위험평가 활용방식	감염병 위험평가 결과를 누구에게 공유하며, 어떻게 활용하는가?

준으로 비교하였다(표 1).

결 과

1. 미국 CDC의 감염병 위험평가체계

미국 CDC는 해외에서 발생한 감염병이 미국의 공중보건에 미치는 영향을 평가하여 신속하게 대응하고, 관련 기관의 의사결정을 지원하기 위해 감염병 위험평가를 수행하고 있다. 평가 시기는 유행 정보가 제한된 초기 단계이거나 감염병 발생 상황, 유전자 변이, 전파경로, 임상양상 등 역학적 특성이 변화하여 과거의 평가에 새로운 정보를 반영할 필요가 있는 경우 수행하며, 과거 유행 데이터 및 역학·임상정보, 모델링 분석, 관련 기관의 보고서나 뉴스, 전문가의 판단 등을 활용한다.

위험평가 적용대상은 기본적으로 미국 내 일반인구를 기준으로 하며, 특정 집단에서 유행이 지속되는 경우 우선순위를 고려하여 취약계층이나 면역저하자, 기저질환자 등의 고위험군을 구분하여 별도의 위험평가를 수행한다.

위험평가 수행방법은 먼저 글로벌 보건안보, 질병감시 및

유행역학 관련 질병 전문가들을 구성하여 ‘누가’, ‘어떤 질병이’, ‘언제까지’, ‘어느 지역’에서 위험한지를 사전에 정의하여 평가범위를 설정하고, 관련 연구결과 및 자료들을 검토하여 적용대상을 설정한다. 이후, 관련 정보를 기반으로 해당 인구집단에서 감염병이 발생할 확률을 말하는 감염병 발생가능성과 감염병 발생 시 공중보건에 대한 심각도를 말하는 영향력을 구분하여 평가한다. 이때 감염가능성의 평가지표는 감염자수, 질병의 전파능력, 면역수준, 공중보건 대응역량 등을 고려하고, 영향력의 평가지표는 질병의 중증도, 중증 면역수준, 백신 및 치료제의 가용능력, 사회·경제적 영향 등을 고려한다. 이후, 산출된 평가결과를 매트릭스에 적용하여 위험도를 ‘극히 낮음(extremely low)’, ‘매우 낮음(very low)’, ‘낮음(low)’, ‘중간(moderate)’, ‘높음(high)’, ‘매우 높음(very high)’으로 분류한다(그림 1). 또한, 평가결과를 뒷받침하는 역학적 특성이 감염병 발생 상황에 따라 달라질 수 있어, 위험평가에 활용된 자료의 양과 질, 일관성 등을 기준으로 근거수준을 평가한다(보충 표 1; available online).

위험평가 활용방식은 감염병의 유행 상황과 위험평가의 목적, 평가결과에 영향을 끼친 핵심 요인, 근거수준, 향후 결

		발생가능성					
		극히 낮음	매우 낮음	낮음	중간	높음	매우 높음
영향력	극히 낮음	극히 낮음	매우 낮음	매우 낮음	낮음	낮음	중간
	매우 낮음	매우 낮음	매우 낮음	낮음	낮음	중간	중간
	낮음	매우 낮음	낮음	낮음	중간	중간	높음
	중간	낮음	낮음	중간	중간	높음	높음
	높음	낮음	중간	중간	높음	높음	매우 높음
	매우 높음	중간	중간	높음	높음	매우 높음	매우 높음
위험평가결과와 신뢰도					낮음	중간	높음

그림 1. 미국 CDC 감염병 위험평가 매트릭스

CDC=Centers for Disease Control and Prevention. Adapted from the article of Centers for Disease Control and Prevention (2025) [6].

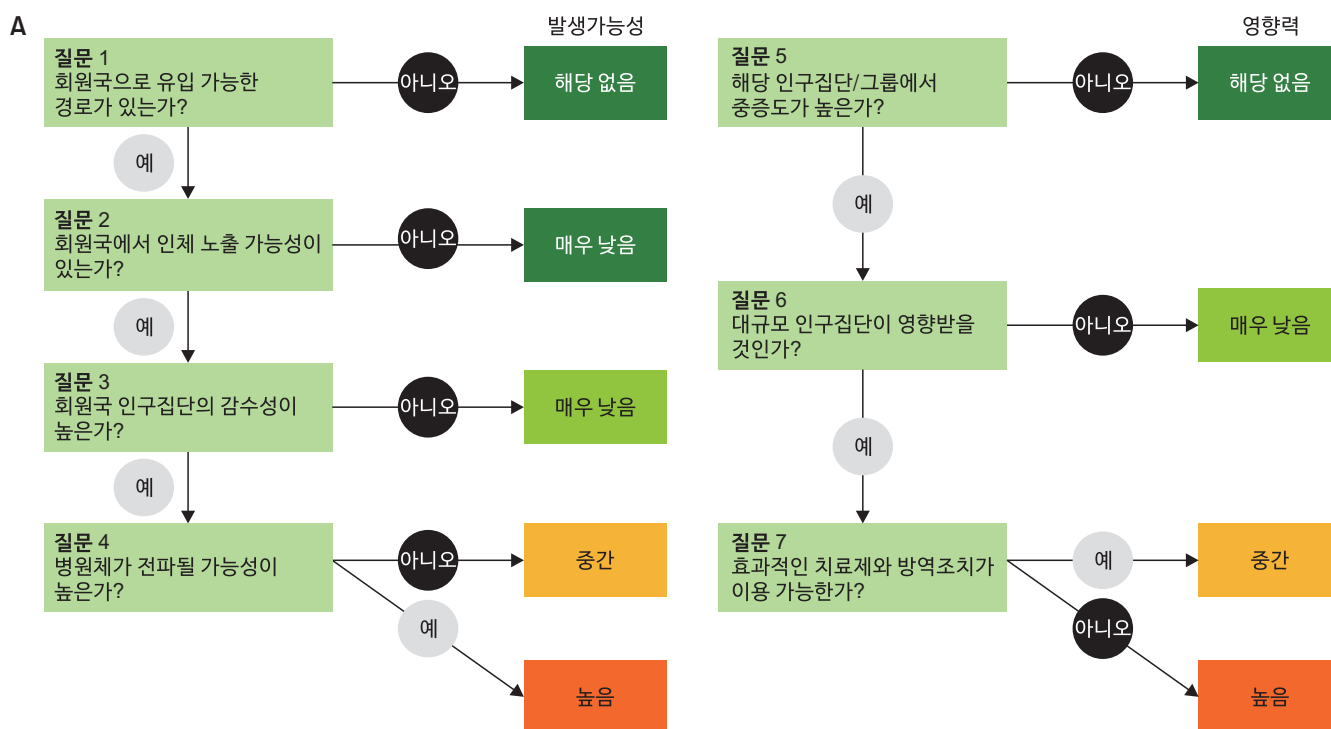
과를 바꿀 수 있는 요인 등을 요약하고, 미국 CDC 기관장, 공중보건 전문가 및 관련 기관에 공유하여 의사결정을 지원하고, 감염병 대비 계획 수립을 지원한다. 또한, 공식 홈페이지를 통해 평가결과가 공개되어 일반 국민의 이해를 돕고 정책적 투명성을 제고하고 있다.

2. 유럽 ECDC의 감염병 위험평가체계

유럽 ECDC는 유럽 인구의 감염병 발생 위험을 평가하고,

유행 상황에 대한 대응 우선순위를 제시하기 위해 감염병 위험평가를 수행하고 있다. 평가 시기는 유럽의 공중보건을 위협할 수 있는 사건이 발생한 초기 단계이거나 새로운 정보가 발견된 경우 수행하며, 사건정보와 질병지침, 유행보고서, 감시데이터, 전문가 의견 등을 종합적으로 활용한다.

위험평가 적용대상은 유럽 내 거주자와 유럽 외 거주자를 구분한 일반인구를 먼저 평가하며, 고위험군이 확인된 경우 별도의 위험평가를 추가로 수행한다.



B

발생가능성 영향력	해당 없음	매우 낮음	낮음	중간	높음
매우 낮음	해당 없음	매우 낮음	낮음	낮음	중간
낮음	해당 없음	낮음	낮음	중간	중간
중간	해당 없음	낮음	중간	중간	높음
높음	해당 없음	중간	중간	높음	높음

그림 2. 유럽 ECDC 감염병 위험평가도구

(A) 유럽 ECDC 감염병 위험평가도구 알고리즘. (B) 유럽 ECDC 감염병 위험평가 매트릭스. ECDC=European Centre for Disease Prevention and Control. Adapted from the article of ECDC (2019) [7].

위험평가 수행방법은 먼저 전담 팀을 구성하여 ‘누가’, ‘어느 지역’에서 위험한지를 사전에 정의하여 평가범위 및 적용대상을 설정하고, 사건정보 및 출판 문헌, 관련 연구결과, 감염병 전문가 의견 등을 검토하여 핵심 근거를 확보한다. 이후, 신종감염병과 같이 수집할 수 있는 정보가 제한된 사건은 평가결과의 정확성에 영향을 줄 수 있어, 수집한 자료의 생성 방법과 연구방법, 연관성 강도, 일관성, 출처 등을 기준으로 근거수준을 평가한다(보충 표 2; available online). 근거수준 평가가 완료되면, 수집한 정보를 토대로 해당 인구집단을 대상으로 알고리즘 기반의 감염병 발생가능성과 영향력을 구분하여 평가한다. 이때, 감염병 발생가능성의 평가지표는 유입가능 경로, 노출가능성, 취약수준, 전파가능성 등을 고려하고, 영향력의 평가지표는 질병의 중증도, 대규모 유행가능성, 치료제 가용능력 및 방역대책 등을 고려한다. 이후, 산출된 평가결과를 매트릭스에 적용하여 위험도를 ‘해당 없음’, ‘매우 낮음’, ‘낮음’, ‘중간’, ‘높음’으로 분류하고(그림 2), 근거수준을 함께 기록한다.

위험평가 활용방식은 발생사건 상황과 위험평가의 목적, 감염병 특성, 평가결과, 대응 방안, 참고문헌 등을 요약하고, 회원국의 보건당국, 의료전문가 및 정책결정자에게 공유하여 감염병 대응전략 수립을 지원하고, 공조체계를 강화하고 있다. 또한, 평가결과가 공식 홈페이지를 통해 공개되어 일반 국민의 감염병 예방수칙을 홍보하고 있다.

3. 대한민국 질병관리청의 감염병 위험평가체계의 현황

대한민국 질병관리청은 해외감염병의 국내 유입을 선제적으로 대비하고, 검역관리지역 지정 및 해제, 자원 배분 등 방역대책의 의사결정을 지원하기 위해 감염병 위험평가를 수행하고 있다. 평가 시기는 24시간 EBS를 통해 해외에서 발생한 초기 감염병 발생정보 및 역학정보 등을 모니터링하는 과정에서 해외감염병이 유행하여 주요 보건기구가 여행자경보를 발령하거나 WHO에서 공중보건 위기상황을 선언하는 경우, 또

는 신종감염병이나 치명률이 높은 감염병이 새롭게 발생한 경우 등 국내 공중보건을 위협할 수 있는 신호로 판단되면, 해외보건기구에서 발표하는 감염병 발생정보와 비교·검증하여 사건으로 분류하고 감염병 역학정보와 연구자료, 임상·감시데이터 등을 종합적으로 활용하여 위험평가를 수행한다(그림 3).

위험평가 적용대상은 기본적으로 국내 거주하는 일반인구를 기준으로 하며, 특정 고위험군이 명확하여 일반인구의 평가결과와 다를 것으로 예상되는 경우 별도의 위험평가를 수행한다.

위험평가 수행방법은 EBS를 통해 해외감염병 발생 상황이 사건으로 분류되어 위험평가가 필요하면, 사전에 구성된 전담팀이 감염병 사건정보와 과거 유행 사례 등을 검토하여 평가범위와 적용대상을 설정한다. 이후, 해외 보건기구의 감염병 특성자료와 최근 위험평가결과, 국내외 연구자료, 국내 감염병 발생상황, 해외출입국 현황 등을 기반으로 감염병 발생가능성과 영향력을 구분하여 평가한다. 이때, 감염병 발생가능성의 평가지표는 유입가능성, 노출가능성, 감염가능성, 전파가능성 등을 고려하고, 영향력의 평가지표는 질병의 중증도, 대규모 유행가능성, 방역대책 여부 등을 고려한다. 이후 산출된 평가결과를 매트릭스에 적용하여 종합위험도를 ‘해당 없음’, ‘매우 낮음’, ‘낮음’, ‘중간’, ‘높음’으로 분류한다(그림 3).

위험평가 활용방식은 위험평가 추진배경과 해외 주요기관의 위험평가결과, 평가지표별 핵심 내용, 과거 위험평가결과 등을 요약하고, 이를 대한민국 질병관리청 내부 부서에 공유하여 검역관리지역 지정 또는 해제, 방역대책 수립 등 과학적이고 근거 기반의 의사결정을 지원한다.

4. 해외 주요기관과 국내 감염병 위험평가체계의 비교 결과

미국 CDC 및 유럽 ECDC와 대한민국 질병관리청의 감염병 위험평가체계를 비교한 결과, 평가시기는 공통적으로 감염



B

발생가능성 \ 영향력	해당 없음	매우 낮음	낮음	중간	높음
매우 낮음	해당 없음	매우 낮음	낮음	낮음	중간
낮음	해당 없음	낮음	낮음	중간	중간
중간	해당 없음	낮음	중간	중간	높음
높음	해당 없음	중간	중간	높음	매우 높음

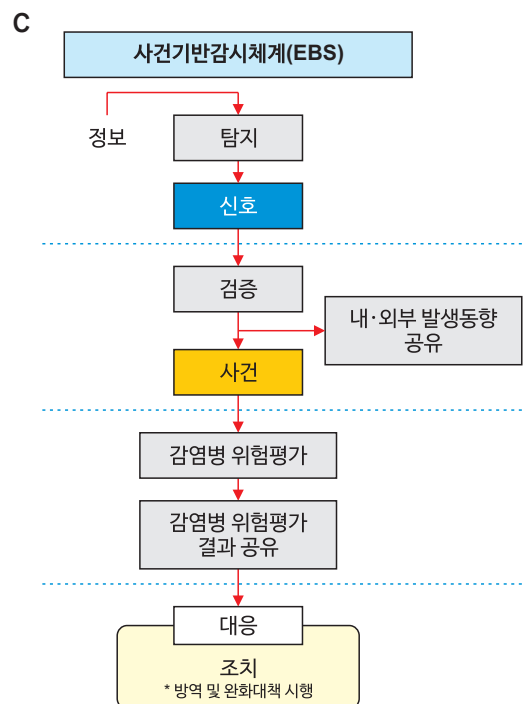


그림 3. 대한민국 질병관리청의 감염병 위험평가도구 및 체계

(A) 대한민국 질병관리청 감염병 위험평가 매트릭스. (B) 대한민국 질병관리청 감염병 위험평가 매트릭스. (C) 대한민국 질병관리청 사건기반감시체계 및 감염병 위험평가 절차. N=no; Y=yes; EBS=event-based surveillance.

병 유행의 초기 단계에 수행하며, 적용대상은 일반적으로 자국민과 고위험군을 구분한다. 또한, 위험평가 방법도 세 기관 모두 감염병 발생가능성과 영향력을 핵심 평가요소로 설정하고 있고, 활용 방식도 평가결과를 공유하여 감염병 대응의 전략적인 방향을 설정하는 점에서 기본적인 구조가 유사하였다.

특히, 대한민국 질병관리청은 2015년 메르스 유행 이후 제도적 기반을 구축하며 감염병 위험평가를 수행하였고, 관련 매뉴얼 및 질환군별 평가지표 등을 마련하며 체계를 지속적으로 정비하였다. 또한, 적용대상을 일반인구와 고위험군으로 구분하여 감염병 예방효과를 극대화하였고, EBS를 통해 해외 감염병 유행정보를 기반으로 감염병 위험평가를 수행하므로 신속한 방역대책 수립을 지원하고 있다. 특히, 위험평가결과를 기반으로 실질적인 방역정책을 결정하는 점에서 정책 연계성의 강점을 보유하고 있다(표 2).

반면, 미국 CDC와 유럽 ECDC는 위험평가를 수행하는 과정에서 정보의 양과 질, 정확성 등이 부족한 경우, 평가결과를 뒷받침하는 근거가 충분하지 않아 타당성이 낮아지고, 향후 정보 업데이트에 의해 위험도가 변동될 가능성이 높다. 따라서, 위험평가에 활용된 정보의 출처 및 일관성, 전문가 의견 등을 고려하여 근거수준을 평가하고 위험평가결과의 신뢰도를 구체적으로 보여주고 있다. 또한, 감염병 위험평가결과를 공식 홈페이지 통해 공개하여 정보의 투명성과 이해도를 높이고 있고, 다양한 분야의 전문가 의견을 위험평가에 반영하여

평가결과의 신뢰도를 높이고 있다.

결론

이 연구는 국내 감염병 위험평가체계의 현황을 점검하고, 정책적 고도화 방향을 시사하고자 미국 CDC, 유럽 ECDC와 대한민국 질병관리청의 위험평가체계를 비교 분석하였다. 모든 기관이 해외에서 발생한 감염병이 자국 내 공중보건에 미치는 영향을 파악하기 위해 사건정보와 관련 연구결과 등을 기반으로 감염병 발생가능성과 영향력을 평가하고, 매트릭스를 통해 종합적인 위험수준을 산출하여 방역대책의 근거를 제공하였다. 이를 통해 국내 감염병 위험평가체계는 기본 구조 측면에서 국제기준과 유사한 수준임을 확인할 수 있었다. 특히, 대한민국 질병관리청은 법적 근거에 따른 전문적인 위험평가를 수행하며 지속적인 체계 정비, 질환군별 평가지표 세분화 등을 추진하고 있고, 고위험군을 대상으로 위험평가를 수행하며 감염병 예방 효과를 극대화하고 있다. 또한, EBS를 적극적으로 활용하여 해외 감염병의 국내 유입 전부터 신속한 감시 및 대응이 가능한 연계체계를 확보하였고, 위험평가결과에 기반한 검역관리지역 지정, 자원 배분 등 주요 의사결정에 직접적으로 활용하고 있다.

반면, 미국 CDC 및 유럽 ECDC는 위험평가에 활용된 정보의 출처, 양과 질, 정확성, 전문가 의견 등을 기반으로 근거

표 2. 대한민국 질병관리청 감염병 위험평가체계의 주요 강점

항목	주요 내용
제도적 기반	‘감염병의 예방 및 관리에 관한 법률’ 제4조 ^{a)} 에, 해외 신종감염병에 대한 위험평가 내용을 신설(시행 2015.7.6.) 하며 전문적인 위험평가 수행, 관련 매뉴얼 제·개정, 질환군별 평가지표 세분화
적용대상 구분	국내 일반인구와 고위험군을 구분한 위험평가를 통해 감염병 예방효과 극대화, 우선순위를 고려한 방역대책 수립
신속한 정보수집	사건기반 감시체계(event-based surveillance)를 통해 위험평가를 수행하여 해외감염병의 국내 유입 전부터 신속한 감시-평가-대응 연계체계 확보
정책 연계	위험평가결과에 기반한 검역관리지역 지정, 자원 배분 등 주요 방역대책 의사결정에 직접 활용

^{a)}「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」 제4조(국가 및 지방자치단체의 책무) 2항 16. 해외 신종감염병 발생 동향의 지속적 파악, 위험성 평가 및 관리 대상 해외 신종감염병의 지정.

수준을 평가함으로써 위험평가결과의 타당성과 향후 변동가능성을 보여주고 있고, 공식 홈페이지를 통해 위험평가결과를 공개함으로써 방역정책의 신뢰도를 제고하고 있다. 따라서, 대한민국 질병관리청도 위험평가결과의 객관성을 확보하고, 대국민을 대상으로 방역정책의 신뢰도를 제고하기 위해 근거수준을 포함한 위험평가결과 공개 및 전문가 자문 등을 추진할 필요가 있다.

전 세계 기후변화와 해외여행의 증가로 감염병의 유행 주기가 점차 짧아지고 있는 상황에서 해외감염병의 국내 유입을 선제적으로 대비하고, 방역정책에 대한 국민의 신뢰도를 제고하기 위해 대한민국 질병관리청은 다음의 영역에서 감염병 위험평가체계의 고도화가 필요하다. 첫째, 방역정책 결정의 신뢰도를 높이기 위해 위험평가에 활용된 자료의 양과 질, 정확성 등을 고려하여 근거수준을 평가할 필요가 있다. 둘째, 위험평가결과에 따른 방역대책의 효과를 극대화하기 위해 평가결과를 투명하게 공개할 필요가 있다. 특히, 결과를 시각적으로 공개함으로써 정책 결정의 신뢰도를 높이고, 국민의 방역 참여를 유도하며, 위생수칙의 필요성을 효과적으로 전달하여 감염병 예방 효과를 극대화할 수 있다. 셋째, 감염병 역학 및 미생물학, 수의학, 통계학 등 다학제 전문가 협업체계를 기반으로 한 위험평가체계를 구축함으로써 결과의 객관성과 정확도를 제고할 수 있다. 특히, 감염병 위험평가결과의 불확실성을 최소화하기 위해 여러 연구진들이 근거 기반의 정량적 위험평가도구를 개발 및 적용하고 있어, 대한민국 질병관리청도 이러한 정책적 수요에 맞춰 국내 환경에 적합한 정량적 위험평가도구를 개발할 필요가 있고[8], 감염병 역학, 면역학, 수의학, 통계학 등 다학제 전문가 협업체계를 기반으로 평가체계를 강화할 필요가 있다.

본 연구는 감염병 위험평가를 수행하는 모든 기관을 포괄적으로 분석하지 못하고, 일부 대표 기관에 국한되어 비교 분석한 한계를 가진다. 그럼에도 불구하고, 대한민국 질병관리청과 해외 주요기관의 감염병 위험평가체계를 고찰함으로써

국내 현황을 진단하고, 향후 정책적 고도화 방향을 시사하는데 그 의의가 있다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

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

Author Contributions: Conceptualization: JHL, UJC. Data curation: JHL, UJC. Formal analysis: JHL, UJC. Investigation: JHL, UJC. Methodology: JHL, UJC. Project administration: JHL, UJC, SYP, SSK. Supervision: SYP, SSK. Visualization: JHL, UJC. Writing – original draft: JHL, UJC. Writing – review & editing: JHL, UJC, SYP, SSK.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency Press Release (June 26 2025). Which infectious diseases were prevalent in Korea, 2024? Analysis of trends in the occurrence of notifiable infectious disease. [cited 2025 Jul 16]. Available from: https://kdca.go.kr/board/board.es?mid=a202501010000&bid=0015%list_no=728064&cg_code=&act=view&nPage=3&newsField=
2. World Health Organization (WHO). International health regulations (2005)-third edition. WHO; 2016.
3. Chu C, Song I, Gwack J, Park O, Jee Y. Joint external evaluation to enhance WHO International Health Regulations (2005) implementation. Public Health Wkly Rep

2017;10:334-7.

4. Hong SH, Hwang JH, An MS, Kim YH, Park JG. Event-based surveillance systems in the Republic of Korea by the emergency operations center. *Public Health Wkly Rep* 2020;13:3400-7.
5. Kim I, Lee J, Lee J, Shin E, Chu C, Lee SK. KCDC risk assessments on the initial phase of the COVID-19 outbreak in Korea. *Osong Public Health Res Perspect* 2020;11:67-73.
6. How CFA conducts risk assessments [Internet]. Centers for Disease Control and Prevention; 2025 [cited 2025 Jul 16]. Available from: <https://www.cdc.gov/cfa-qualitative-assessments/php/about/risk-assessment-methods.html>
7. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Operational tool on rapid risk assessment methodology: ECDC 2019. ECDC; 2019.
8. Choi E, Woo D, Choe YJ, Yeh J, Park S. Comparative analysis of risk assessment tools for infectious diseases. *Health Policy Manag* 2022;32:380-8.

Policy Note

Comparative Analysis of Infectious Disease Risk Assessment Frameworks between National and International Agencies: The Status of and Future Improvements of the Korea Disease Control and Prevention Agency

Jeong-Heon Lee[†] , U-Jin Cho[†] , Shin-Young Park , Seong-Sun Kim* 

Division of Epidemiological Data Analysis, Department of Data Science, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Objectives: In the context of recurring threats from infectious disease outbreaks, establishing a rapid risk assessment framework based on scientific evidence is a core component of national public health preparedness. In this study, the aim was to compare the infectious disease risk assessment frameworks of the U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), and the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), to determine the status of the KDCA, and to suggest future directions for improvement.

Methods: A literature-based comparative analysis was conducted, focusing on evaluation indicators, implementation procedures, presentation of results, and the level of public disclosure using official manuals and documents published by each agency.

Results: All three agencies (CDC, ECDC, and KDCA) commonly assess probability and health/social impact as key assessment factors and operate expert-driven rapid risk assessment during the early stages of outbreaks. The KDCA has continuously refined its system through regular updates of manuals and development disease-specific evaluation indicators. However, the CDC and ECDC explicitly incorporate the level of confidence in scientific evidence and visually present risk assessment results to the public.

Conclusions: Although the KDCA has established a framework aligned with international standards, further advances are required in the quantification of risk assessment, explicit indication of the level of confidence, and improvement in the disclosure of information to the public. These improvements will strengthen evidence-based policy decision-making, enhance public transparency, and ultimately increase public trust.

Key words: Infectious disease outbreaks; Comparative study; Communicable diseases, imported

*Corresponding author: Seong-Sun Kim, Tel: +82-43-719-7950, E-mail: sskim0719@korea.kr

[†]These authors contributed equally to this study as co-first authors.

Introduction

Since the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic,

the risk of domestic outbreaks caused by imported infectious diseases has been steadily increasing. This trend is attributed to a combination of factors, including climate change, expanded

Key messages

① What was known previously?

The Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) has collected data through the event-based surveillance system and has assessed the likelihood and impact of infectious diseases on the public to minimize risk and support decision-making for public health responses.

② What new information is presented?

International agencies assess the level of confidence and disclose risk assessment results on their websites to ensure the reliability of risk assessment results and to maximize the effectiveness of infectious disease prevention.

③ What are the implications?

To ensure the reliability and maximize the effectiveness of infectious disease prevention, the KDCA must assess the level of confidence, disclose results publicly, develop quantitative tools, and establish an expert collaboration system.

international trade, and rise in overseas travel. In the Republic of Korea (ROK), the number of imported infectious disease cases increased annually from 5,495 in 2020 to 11,989 in 2021 and 56,037 in 2022. Even when excluding COVID-19, the number of imported cases increased by approximately 55.8%, from 389 in 2023 to 606 in 2024 [1].

The World Health Organization (WHO) established the International Health Regulations to strengthen the global response to the spread of infectious diseases, emphasizing the importance of event-based surveillance (EBS), risk assessment, and response systems [2]. In addition, through the Joint External Evaluation, which objectively assesses the public health response capacities of member states, the WHO highlights the importance of surveillance and risk assessment

systems for imported infectious diseases [3]. In line with these international efforts, the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) conducts infectious disease risk assessments to enable prompt responses to the domestic introduction of imported infectious diseases.

Infectious disease risk assessment refers to the scientific evaluation of the potential risk that an infectious disease event poses to public health, with the aim of supporting response strategies and policy decisions based on the results. Currently, the KDCA collects infectious disease information through an EBS system that monitors various sources, including official data from international health organizations, websites, and media reports. Based on these data, the KDCA assesses the Probability and Impact of infectious disease outbreaks on the general public and shares the results with relevant departments to support evidence-based control decision-making, such as prioritizing resource allocation and managing quarantine areas [4].

Following the 2015 outbreak of Middle East respiratory syndrome (MERS) in ROK, the KDCA formally implemented its infectious disease risk assessment framework. This framework contributed to rapid situational judgment and strategy formulation even in the early stages of the COVID-19 pandemic [5]. This study aimed to evaluate the status of the domestic risk assessment framework by comparing the infectious disease risk assessment frameworks of the U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), and the KDCA, and to propose directions for its future enhancement and policy development.

Methods

To evaluate the status of the KDCA's infectious disease risk assessment framework and to propose directions for its enhancement and policy development, risk assessments conducted by the U.S. CDC's Center for Forecasting and Outbreak Analytics [6] and the rapid risk assessments of the ECDC [7] were selected for comparative analysis. Data were collected from the official websites and related reports of each agency and were compared based on the timing of risk assessment, target population, assessment methods, and application of results (Table 1).

Results

1. Infectious Disease Risk Assessment Framework of the U.S. CDC

The U.S. CDC conducts infectious disease risk assessments to evaluate the potential impact of infectious diseases occurring overseas on public health in the U.S., thereby enabling rapid responses and supporting decision-making by relevant agencies. Assessments are conducted during the early stages of an

outbreak when information is limited, or when changes occur in epidemiological characteristics—such as outbreak dynamics, genetic mutations, transmission routes, or clinical manifestations—necessitating the updates of new information into prior evaluations. These assessments draw upon historical outbreak data, epidemiological and clinical information, modeling analyses, reports and news from relevant agencies, and expert judgment.

The target population for risk assessment is primarily the general public in the U.S. However, when an outbreak continues within a specific group, separate risk assessments are conducted for high-risk populations—such as vulnerable individuals, immunocompromised persons, or those with underlying medical conditions—based on priority.

The assessment process begins by forming a team of experts in global health security, disease surveillance, outbreak epidemiology, and relevant disease areas. This team predefines the scope of the assessment by specifying “who” is at risk, “what” disease is being assessed, by “when” and in “which” area. The target population is then determined by reviewing relevant research findings and data. Subsequently, based on this information, the assessment is divided into two components: Likelihood, which refers to the probability of an infectious disease occurring in the target population, and Impact, which refers to the severity of public health consequences if an outbreak occurs. Evaluation indicators for Likelihood include the number of infected individuals, disease transmissibility, immunity levels, and public health response capacity. Evaluation indicators for Impact include disease severity, immunity levels in severe cases, availability of vaccines and treatments, and socioeconomic effects. The resulting assessment outcomes are then applied to a risk matrix to classify the overall risk level as

Table 1. Criteria for comparing infectious disease risk assessment systems

Criteria	Definition
Period	When is the risk assessment conducted?
Target	Who is the target population for risk assessment?
Method	What procedures are used to conduct the risk assessment, and what aspects are assessed?
Application	To whom are the results of the risk assessments shared, and how are they utilized?

“extremely low,” “very low,” “low,” “moderate,” “high,” or “very high” (Figure 1). Furthermore, as the epidemiological characteristics underlying the assessment results may change depending on the outbreak situation, a Level of Confidence is also assigned, based on the quantity, quality, and consistency of the data used in the risk assessment (Supplementary Table 1; available online).

Application: The assessment summarizes the outbreak situation, the purpose of the risk assessment, key factors influencing the results, the Level of Confidence, and factors that may affect future outcomes. This summary is shared with the CDC director, public health experts, and relevant agencies to support decision-making and the development of infectious disease preparedness plans. In addition, the assessment results are made publicly available on the official website to enhance public understanding and promote policy transparency.

2. Infectious Disease Risk Assessment Framework of the ECDC

The ECDC conducts infectious disease risk assessments to evaluate the risk of outbreaks among the European population and to establish response priorities during outbreak situations. Assessments are carried out in the early stages of an event that may pose a threat to public health in Europe or when new information becomes available. These assessments comprehensively draw on event information, disease guidelines, outbreak reports, surveillance data, and expert opinions.

The primary target population for assessment is the general public, differentiated between residents within and outside Europe. When high-risk groups are identified, a separate risk assessment is conducted for those populations.

The assessment process begins by forming a dedicated team to predefine the scope and target population by specifying “who” is at risk and “in which area.” The team then secures key evidence by reviewing event information, published literature, relevant research findings, and expert opinions on

		Likelihood					
		Extremely low	Very low	Low	Moderate	High	Very high
Impact	Extremely low	Extremely low	Very low	Very low	Low	Low	Moderate
	Very low	Very low	Very low	Low	Low	Moderate	Moderate
	Low	Very low	Low	Low	Moderate	Moderate	High
	Moderate	Low	Low	Moderate	Moderate	High	High
	High	Low	Moderate	Moderate	High	High	Very high
	Very high	Moderate	Moderate	High	High	Very high	Very high
Confidence in assessment					Low	Moderate	High

Figure 1. Matrix of the infectious disease risk assessment of CDC

CDC=Centers for Disease Control and Prevention. Adapted from the article of Centers for Disease Control and Prevention (2025) [6].

infectious diseases. Subsequently, for emerging infectious diseases, where available data may be limited and can affect the accuracy of results, the Level of Confidence is evaluated based on the data generation method, study design, strength of association, consistency, and source reliability (Supplementary Table 2; available online). Once the Level of Confidence assessment is complete, the collected information is used to evaluate Probability and Impact for the target population

through an algorithm-based approach. Evaluation indicators for Probability include potential routes of introduction, likelihood of exposure, susceptibility levels, and transmissibility. Indicators for Impact include disease severity, potential for large-scale outbreaks, and the availability of treatments and control measures. The resulting assessment outcomes are then applied to a risk matrix to classify the overall risk level as “none,” “very low,” “low,” “moderate,” or “high” (Figure 2), with the

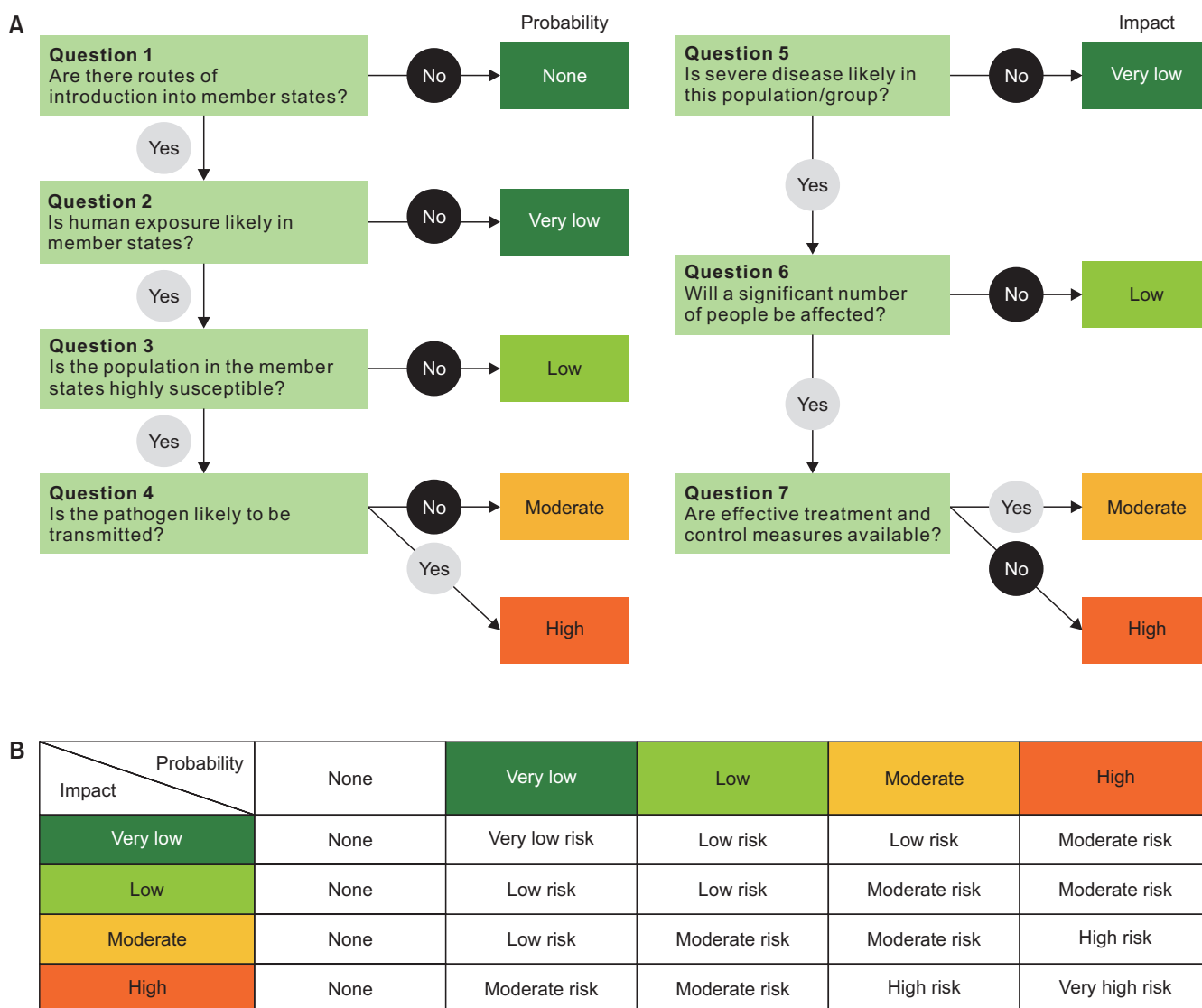


Figure 2. Tool of the infectious disease risk assessment of ECDC

(A) Algorithm of the infectious disease risk assessment of ECDC. (B) Matrix of the infectious disease risk assessment of ECDC. ECDC=European Centre for Disease Prevention and Control. Adapted from the article of ECDC (2019) [7].

corresponding Level of Confidence recorded alongside.

Application: The assessment summarizes the event situation, the purpose of the risk assessment, infectious disease characteristics, assessment results, recommended response options, and references. This summary is shared with health authorities, medical professionals, and policymakers in member states to support the development of infectious disease response strategies and to strengthen collaborative systems. In addition, the assessment results are publicly disclosed on the official website to promote infectious disease prevention guidelines to the general public.

3. Status of the KDCA Infectious Disease Risk Assessment Framework

The KDCA conducts infectious disease risk assessments to proactively prepare for the domestic influx of imported infectious diseases and to support decision-making for control measures, such as the management of quarantine areas and the allocation of resources. Assessments are initiated when signals threatening domestic public health are detected during 24-hour EBS monitoring of initial outbreak and epidemiological information from abroad. Such signals may include outbreaks of imported infectious diseases that prompt major health organizations to issue travel advisories, a WHO declaration of a public health emergency of international concern, or the emergence of a new infectious disease with a high fatality rate. Once a signal is verified against information from foreign health agencies and classified as an event, a risk assessment is conducted using comprehensive data, including epidemiological information, research findings, and clinical and surveillance data (Figure 3).

The target population for risk assessment is primarily the

general population residing in ROK, with a separate assessment conducted when a specific high-risk group is clearly identified and expected to have different risk results from the general population.

The risk assessment process begins when an event identified through the EBS system is classified as requiring evaluation. A pre-established expert team reviews the event information and past outbreak cases to determine the assessment scope and target population. The assessment is then divided into evaluations of Probability and Impact, based on data from foreign health organizations, recent risk assessment results, domestic and international research, the domestic infectious disease situation, and international travel statistics. Evaluation indicators for Probability include the likelihood of introduction, exposure, infection, and transmission, while indicators for Impact include disease severity, the potential for large-scale outbreaks, and the availability of control measures. The assessment outcomes are subsequently applied to a matrix to classify the overall risk level as “none,” “very low,” “low,” “moderate,” or “high” (Figure 3).

Application: The assessment summarizes the background of the risk assessment, results from major foreign agencies, key details for each evaluation indicator, and past assessment outcomes. This summary is shared with internal KDCA departments to support scientific, evidence-based decision-making, such as managing quarantine areas and implementing control measures.

4. Comparison of Infectious Disease Risk Assessment Frameworks between Major Foreign Agencies and ROK

A comparison of the infectious disease risk assessment

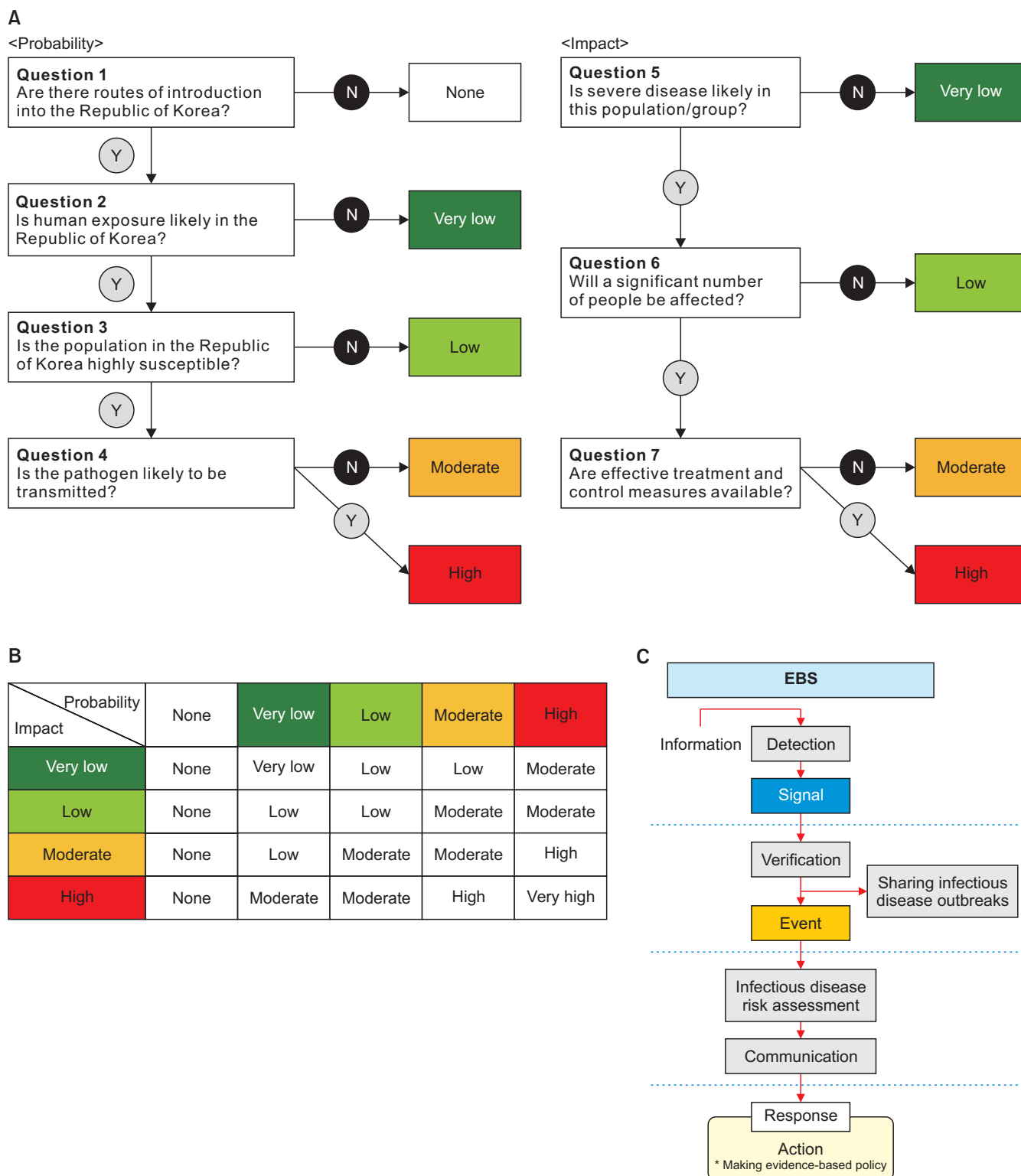


Figure 3. Tool and framework of the infectious disease risk assessment of KDCA

(A) Algorithm of the infectious disease risk assessment of KDCA. (B) Matrix of the infectious disease risk assessment of KDCA. (C) Framework from EBS to infectious disease risk assessment of KDCA. N=no; Y=yes; EBS=event-based surveillance; KDCA=Korea Disease Control and Prevention Agency.

frameworks of the CDC, ECDC, and KDCA reveals that all three agencies commonly conduct assessments during the early stages of an infectious disease outbreak and generally differentiate between the national population and high-risk groups as their target. Furthermore, the basic structures are similar, with all three agencies identifying the Likelihood (or Probability) and its Impact as core evaluation elements, and applying the results to establish strategic directions for infectious disease response.

Notably, since the 2015 MERS outbreak, the KDCA has established an institutional foundation for conducting infectious disease risk assessments, continuously refining the system through the development of related manuals and disease-specific evaluation indicators. In addition, it has enhanced the effectiveness of disease prevention by distinguishing between the general population and high-risk groups, and it supports the rapid implementation of control measures by conducting risk assessments based on outbreak information from abroad through its EBS. The KDCA also holds a strong advantage in

policy linkage, as risk assessment results directly inform practical control policy decisions (Table 2).

In contrast, when the CDC and ECDC conduct risk assessments with insufficient information in terms of quantity, quality, or accuracy, the supporting evidence for the results is limited, reducing validity and increasing the likelihood that the risk level may change with future updates. To address this, they assess the Level of Confidence by considering the source and consistency of the information used, as well as expert opinions, to explicitly indicate the reliability of the risk assessment results. Furthermore, they enhance transparency and public understanding by disclosing the risk assessment results on their official websites and improve the reliability of the results by incorporating input from experts across various fields.

Conclusion

This study compared and analyzed the risk assessment frameworks of the U.S. CDC, the ECDC, and the KDCA to

Table 2. Key strengths of the infectious disease risk assessment system in KDCA

Criteria	Key strengths
Institutional framework	Inclusion of risk assessment for emerging infectious diseases from abroad in Article 4 ^{a)} of the Infectious Disease Control and Prevention Act (effective July 6, 2015); implementation of risk assessment reviewed by professional; revision of related manuals; and categorization of disease-specific assessment indicators
Differentiated target group	Maximization of preventive effects through risk assessments distinguishing the general population from high-risk groups, enabling the development of prioritized disease control measures
Rapid information collection	Event-based surveillance enables timely risk assessments and integration of surveillance-response systems before the introduction of overseas infectious diseases
Policy linkage	Direct application of risk assessment results in key disease control decisions, including the designation of quarantine management areas and allocation of resources

KDCA=Korea Disease Control and Prevention Agency. ^{a)}Republic of Korea, Infectious Disease Control and Prevention Act [enforcement date: July 24, 2024], Act No. 20090 (Jan 23, 2024, partial amendment), Article 4 (Responsibilities of the State and Local Governments) subparagraph 16. "Continuous monitoring of the trends of outbreaks of overseas emerging infectious diseases, and the risk evaluation thereof, and the designation of overseas emerging infectious diseases subject to control."

evaluate the status of the domestic infectious disease risk assessment framework and to propose directions for its policy enhancement. All three agencies assess Likelihood or Probability and Impact of an outbreak based on event information and relevant research findings to understand the domestic public health effects of infectious diseases occurring overseas, providing an evidence for control measures by calculating an overall risk level using a matrix. This comparison confirmed that the domestic infectious disease risk assessment framework is structurally similar to international standards. Notably, the KDCA conducts professional risk assessments on a legal basis, continuously refines the system, develops disease-specific evaluation indicators, and enhances disease prevention by targeting high-risk groups. Furthermore, by actively utilizing its EBS, the KDCA has established an integrated system that enables rapid surveillance and response even before the domestic influx of imported infectious diseases, and it directly applies assessment results to key decisions, such as managing quarantine areas and allocating resources.

In contrast, the CDC and ECDC assess the Level of Confidence based on the source, quantity, quality, and accuracy of the information used, as well as expert opinions, thereby demonstrating the validity of the assessment results and their potential to change with new information. They also enhance the credibility of their control policies by publicly disclosing the results on their official websites. To ensure the objectivity of its assessment results and strengthen public trust in its control policies, the KDCA should likewise pursue the public disclosure of risk assessment results, including the Level of Confidence, and expand the use of expert advisory panels.

With the cycle of infectious disease outbreaks shortening due to global climate change and increased international travel,

the KDCA needs to enhance its infectious disease risk assessment framework to proactively prepare for the domestic influx of imported diseases and to improve public trust in control policies. First, to increase the credibility of control policy decisions, it is necessary to assess the Level of Confidence by considering the quantity, quality, and accuracy of the data used in the risk assessment. Second, to maximize the effectiveness of control measures based on assessment results, these results should be transparently disclosed. In particular, visually presenting the results can enhance the credibility of policy decisions, encourage public participation in control efforts, and effectively communicate the need for hygiene practices, thereby maximizing disease prevention effects. Third, the objectivity and accuracy of the results can be improved by establishing a risk assessment system based on a multidisciplinary expert collaboration framework, including fields such as infectious disease epidemiology, microbiology, veterinary medicine, and statistics. Notably, as various research teams are developing and applying evidence-based quantitative risk assessment tools to minimize uncertainty in assessment results, the KDCA needs to develop a quantitative tool suitable for the domestic environment in response to this policy demand [8] and to strengthen its assessment system based on a multidisciplinary expert collaboration framework encompassing infectious disease epidemiology, immunology, veterinary medicine, and statistics.

This study has a limitation, given its focus on a few representative agencies rather than comprehensively analyzing all agencies that conduct infectious disease risk assessments. Nevertheless, its significance lies in evaluating the current domestic framework and proposing future directions for policy enhancement by examining the infectious disease risk assessment frameworks of the KDCA and major foreign agencies.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

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

Author Contributions: Conceptualization: JHL, UJC. Data curation: JHL, UJC. Formal analysis: JHL, UJC. Investigation: JHL, UJC. Methodology: JHL, UJC. Project administration: JHL, UJC, SYP, SSK. Supervision: SYP, SSK. Visualization: JHL, UJC. Writing – original draft: JHL, UJC. Writing – review & editing: JHL, UJC, SYP, SSK.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency Press Release (June 26 2025). Which infectious diseases were

prevalent in Korea, 2024? Analysis of trends in the occurrence of notifiable infectious disease. [cited 2025 Jul 16]. Available from: https://kdca.go.kr/board/board.es?mid=a202501010000&bid=0015%list_no=728064&cg_code=&act=view&nPage=3&newsField=

2. World Health Organization (WHO). International health regulations (2005)–third edition. WHO; 2016.
3. Chu C, Song I, Gwack J, Park O, Jee Y. Joint external evaluation to enhance WHO International Health Regulations (2005) implementation. Public Health Wkly Rep 2017;10:334-7.
4. Hong SH, Hwang JH, An MS, Kim YH, Park JG. Event-based surveillance systems in the Republic of Korea by the emergency operations center. Public Health Wkly Rep 2020;13:3400-7.
5. Kim I, Lee J, Lee J, Shin E, Chu C, Lee SK. KCDC risk assessments on the initial phase of the COVID-19 outbreak in Korea. Osong Public Health Res Perspect 2020;11:67-73.
6. How CFA conducts risk assessments [Internet]. Centers for Disease Control and Prevention; 2025 [cited 2025 Jul 16]. Available from: <https://www.cdc.gov/cfa-qualitative-assessments/php/about/risk-assessment-methods.html>
7. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Operational tool on rapid risk assessment methodology: ECDC 2019. ECDC; 2019.
8. Choi E, Woo D, Choe YJ, Yeh J, Park S. Comparative analysis of risk assessment tools for infectious diseases. Health Policy Manag 2022;32:380-8.

2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련 실시 결과

송영준 , 권정란 , 이해림 , 박점마 , 이해영 , 박성우 , 김윤아* 

질병관리청 충청권질병대응센터 감염병대응과

초 록

목적: 본 원고에서는 2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련 후 설문 결과를 분석하여 향후 훈련에 대한 개선 방안을 도출하고자 하였다.

방법: 훈련 평가는 시·도, 시·군·구, 감염병관리지원단 소속 역학조사반원 등을 대상으로 설문을 통해 만족도 조사 및 현장 대응 역량 향상 평가를 실시하였다.

결과: 2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련에는 충청권 지자체 36개 중 31개가 참석하였고, 참석자 총 66명으로 이 중 시·군·구 51명(77.3%)으로 가장 많았으며, 평균 연령은 37.4세(범위: 26-56세), 평균 경력은 19.3개월(범위: 0-84개월)로 나타났다. 응답 평균 점수를 살펴본 결과, 현장 대응에 대한 사전 이해도 2개 항목(7점 척도)은 4.4-4.8점, 사후 현장 대응 역량 향상 관련 8개 항목(7점 척도)은 5.9-6.2점을 보였다.

결론: 이번 훈련은 충청권 지자체 역학조사반을 대상으로 시행한 첫 번째 현장훈련으로, 향후 지자체 역학조사반의 참여를 유도하고 훈련을 발전시키는 방안을 모색할 필요가 있다.

주요 검색어: 감염병; 지자체; 역학; 훈련

서 론

감염병 발생 시 국민의 건강과 안전을 위협함은 물론 막대한 사회경제적 손실을 초래하므로 조기인지 및 신속대응을 통해 감염원을 규명하고 확산 규모를 최소화하는 것이 중요하다. 따라서 평소 감염병 발생을 선제적으로 대비하고 대응 역량을 지속적으로 강화하기 위해 충청권질병대응센터에서는 지자체 감염병 대응 담당자들을 대상으로 주기적으로 감염병

대응 교육 프로그램을 운영하고 있다. 2021년부터 2024년까지 지자체 감염병 대응 담당자 대상 교육 총 31회, 검역소 직원 대상 교육 총 12회를 실시하였다. 이에 더하여 2025년 충청권 지자체 역학조사반을 대상으로 한 첫 훈련을 2025년 6월 26일에 실시하였다.

공중보건 위기대응 과정에서 지자체의 감염병 대응 업무는 감염병의 지역사회 확산을 막는 데에 필수적이다[1]. 보건소의 감염병 대응 부서는 감염병 환자 등에 대한 인지, 접촉자

Received July 24, 2025 Revised September 15, 2025 Accepted September 22, 2025

*Corresponding author: 김윤아, Tel: +82-42-229-1520, E-mail: yunaghim@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?

충청권질병대응센터는 충청권 내 감염병 예방 및 대규모 전파 방지를 위하여 권역 내 감염병 대응 인력에 대한 맞춤형 역량 강화 교육을 지속적으로 시행하고 있다.

② 새로이 알게 된 내용은?

2025년 훈련 실시 결과, 최근 2년 이내 현장 대응 횟수가 1-5회(43.9%), 0회(42.4%)가 대부분이었다. 훈련 방법 및 운영에 대한 평균 만족도는 6.3-6.5점을 보였다.

③ 시사점은?

지자체 역학조사반을 대상으로 한 훈련은 감염병의 예방 및 관리, 추가 전파 확산 방지를 위하여 지속되어야 한다.

조사, 격리대상자 관리를 직접적으로 실시하며, 결국 의료가 관뿐만이 아닌 시·도청 감염병 대응 부서, 권역별 질병대응센터 등 다양한 기관 간의 협력이 중요하다. 원활한 감염병 대응 및 관리를 위해서 보건소 감염병 대응 부서의 의지 함양은 곧 공중보건위기에 대한 국가의 대응 능력에 긍정적인 영향을 줄 것이다[2]. 따라서 지자체 역학조사반의 감염병 대응 역량 강화를 목적으로 한 훈련은 매우 필요하다[3].

본 훈련은 질병관리청 질병관리역량개발담당관으로부터 제공받은 훈련 시나리오 및 예산을 활용한 모의훈련으로 지자체 역학조사반의 위기관리 체계 점검 및 초동 대응 역량 강화를 목적으로 한다.

이 원고는 「2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련 결과 보고」를 바탕으로 작성되었다[4].

방 법

1. 훈련 참여기관 및 역할

충청권질병대응센터는 충청권 4개 시·도 및 32개 시·군·구, 4개 시·도 감염병관리지원단의 역학조사반을 대상으로 훈련 계획 수립 및 운영을 하였다. 유관기관으로 행정안전부 보건사회재난대응과, 질병관리청 질병관리역량개발담당관에서 본 훈련에 참석하였다.

2. 훈련 주제

훈련 주제는 코로나바이러스감염증-19 유행 이후 해외여행이 점차 증가함에 따라 해외유입 가능성이 높은 감염병을 탐색하였다. 2014년 홍역 퇴치 국가로 인증받은 이래 주로 해외유입 또는 해외유입 관련 사례로 발생되고 있는 홍역을 주제로 선정하였다[5].

3. 훈련 구성

훈련은 강의, 토론 기반 훈련, 동영상 시청 및 조별 의심 환자 인터뷰, 설문조사, 총평 및 폐회로 구성되었다. 훈련은 국내·외 홍역 발생 동향 및 대응 지침 교육 강의로 시작하였다. 토론 기반 훈련은 해외유입 의심 환자 대응 훈련으로 보

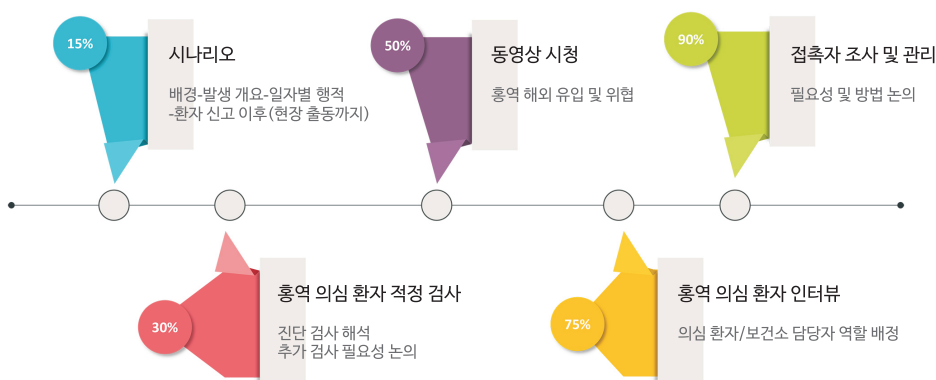


그림 1. 훈련 흐름도

건소의 의심 환자 인지, 검체 검사 결과의 해석, 추가 검사의 필요성, 접촉자 조사 및 관리에 대하여 각 문제에 대한 답을 내도록 한 과정이 포함되어 있다(그림 1). 토론 기반 훈련의 시나리오는 가족이 해외로 부모님 집 방문 및 여행, 국내 복귀 후 홍역 진단까지 과정을 보여주면서 증상, 일차별 이동 경로, 검사 결과를 함께 제시하고 있다. 또한, 국내 홍역 발생 현황에 대한 동영상 1건과 세계보건기구(World Health Organization)에서 홍역에 대한 정보를 제공하는 동영상 1건을 시청 후, 조별로 의심 환자와 지자체 역학조사반 역할로 짝을 이루어 돌발질문을 포함한 인터뷰를 시행하는 역할극을 실시하였다. 설문조사는 quick response 코드를 활용하여 진행하였으며, 총평 및 폐회로 훈련이 마무리되었다.

4. 훈련 평가

훈련 평가는 지자체 역학조사반 및 유관기관 참석자 모두 만족도 조사와 자가 평가 설문에 답하였다. 설문은 크게 훈련 만족도, 자가 평가 부분인 현장 대응 역량 향상에 대한 항목은 7점 라이커트 척도(1: 전혀 그렇지 않다, 7: 매우 그렇다)로 응답하게 하였다. 현장 대응 역량 향상에 대한 항목 중 사전 응답 부분은 사전 이해도 2문항, 사후 응답 부분은 현장 자료 수집 및 관리 2문항, 현장 조사 역량 2문항, 상황 분석 및 문제 해결 2문항, 의사소통 및 협력 역량 2문항으로 사전·사후 문항 총 10문항으로 이루어져 있다.

5. 훈련 평가자료의 분석 방법

통계 프로그램 R-4.5.0 for Windows (R Foundation for Statistical Computing)를 사용하여 정규성 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시 후 사전 응답과 사후 응답 점수 간 차이를 확인하기 위하여 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 수행하였고, 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

결 과

2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련은 6월 26일 시행하였으며, 훈련에는 총 66명이 참여하였고, 설문을 모두 완료하여 유효 응답 사례 66건(100.0%)을 분석하였다.

1. 훈련생 구성

본 훈련의 참석자 총 66명에 대하여 살펴본 결과, 여성이 52명(78.8%)으로 대부분을 차지하였고, 평균 연령은 37.4세였으며, 연령대는 30대(50.0%), 40대(19.7%), 20대(16.7%) 순으로 많았다. 직종(직군)은 행정 및 보건의 52명(78.8%)으로 가장 많았으며, 현재 소속된 기관에서의 근무 경력은 평균 19.3개월이었고, 6개월 이상-12개월 미만 21명(31.8%), 24개월 이상-60개월 미만 18명(27.3%), 12개월 이상-24개월 미만 16명(24.2%) 순으로 나타났다. 최근 2년 이내 감염병 현장 대응 횟수는 1회 이상-5회 미만 29명(43.9%), 0회 28명(42.4%) 순으로 많았다(표 2).

표 1. 훈련 평가 개요

구분	평가 내용	항목 구성
만족도 조사	훈련 구성 및 운영의 적절성 등을 진단 - 훈련 내용의 적절성, 교육 방법의 적합성, 교육 운영의 적절성 등	• 총 5문항 • 7점 척도(전혀 그렇지 않다-매우 그렇다) • 7점 만점
자가 평가	현장 대응 역량 향상 평가 - 사전 이해도 - 사후 현장 자료 수집 및 관리, 현장 조사 역량, 상황 분석 및 문제 해결, 의사소통 및 협력 역량 등	• 총 10문항 • 7점 척도(전혀 그렇지 않다-매우 그렇다) • 7점 만점

2. 평가 결과

훈련 만족도에 대하여 감염병 대응 업무에 도움이 되는 정

표 2. 훈련생의 구성 현황

구분	응답사례수(건)	비율(%)
성별		
남	14	21.2
여	52	78.8
연령		
20대	11	16.7
30대	33	50.0
40대	13	19.7
50대	9	13.6
소속		
시·도	6	9.1
시·군·구	51	77.3
감염병관리지원단	6	9.1
기타	3	4.5
직종(직군)		
역학조사관	8	12.1
연구	6	9.1
행정 및 보건	52	78.8
근무 경력		
6개월 미만	7	10.6
6개월 이상-12개월 미만	21	31.8
12개월 이상-24개월 미만	16	24.2
24개월 이상-60개월 미만	18	27.3
60개월 이상	4	6.1
최근 2년 이내 현장 대응		
0회	28	42.4
1회 이상-5회 미만	29	43.9
5회 이상-10회 미만	5	7.6
11회 이상	4	6.1
전체	66	100.0

도, 훈련 내용의 훈련 목표 달성에 대한 적합성, 훈련 내용 이해 및 수행에 대한 적절성, 교육 방법의 적합성, 교육 운영 시 안내와 지원이 원활한 정도를 살펴본 만족도 조사(7점 척도) 결과, 각 설문 항목별 평균 점수는 6.3-6.5점에 분포하여 전반적으로 긍정적인 방향의 답을 받았다(그림 2).

현장 대응 역량 향상 효과 평가를 위하여 사전 응답 부분인 사전 이해도는 4.4-4.8점, 사후 응답인 현장 자료 수집 및 관리 5.9-6.0점, 현장 조사 역량 6.0-6.1점, 상황 분석 및 문제 해결 6.0점, 의사소통 및 협력 역량 응답 6.1-6.2점으로 나타났다(그림 3). 각 설문 항목에 대하여 정규성 검정을 수행한 결과, 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 사전 응답인 사전 이해도와 사후 응답 4개 항목인 현장 자료 수집 및 관리, 현장 조사 역량, 상황 분석 및 문제 해결, 의사소통 및 협력 간에 각각 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(표 3).

논 의

충청권 지자체 역학조사반 훈련은 시나리오를 활용하여 위기관리 체계 점검 및 초동 대응 역량을 강화하기 위한 훈련이다. 또한, 충청권질병대응센터와 충청권 내 지자체 및 감염병관리지원단의 역학조사반 역할을 확인 및 공유하였으며, 기관 간에 연락망 재확인 및 기관 간 역할을 점검하기 위한 목적도 달성하였다.

본 훈련은 충청권 지자체 역학조사반원을 대상으로 한 첫

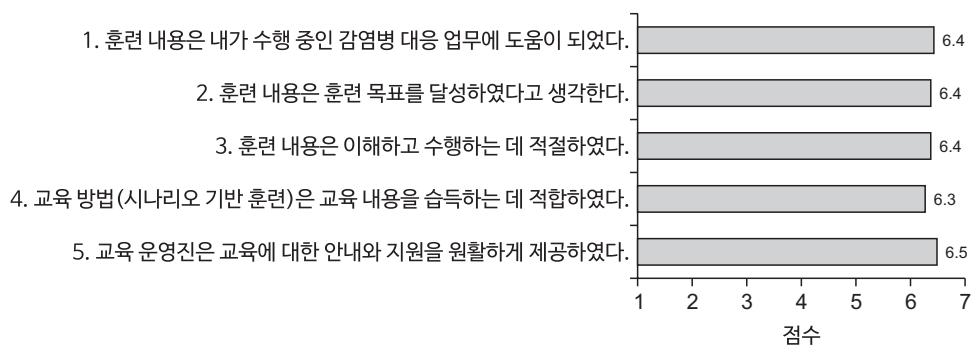
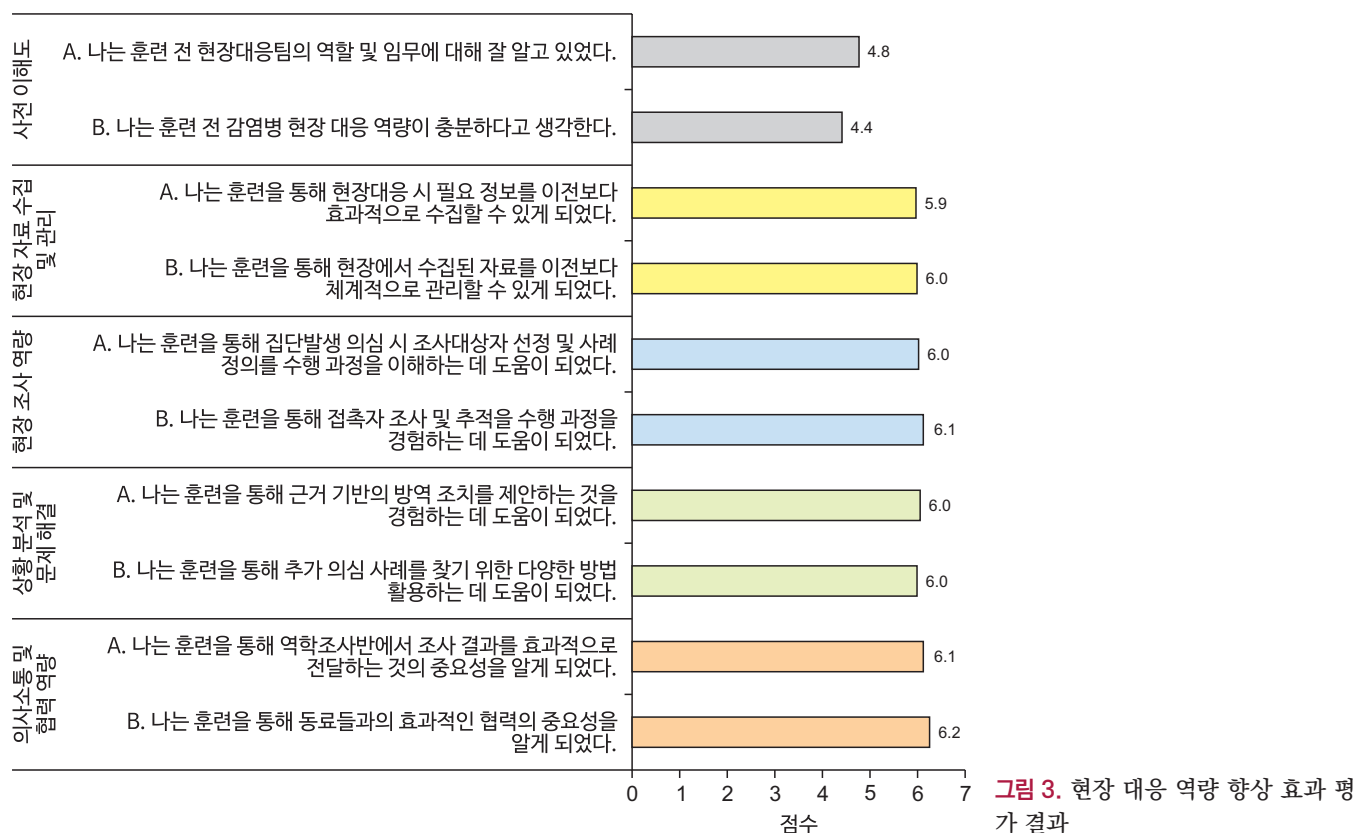


그림 2. 2025년 충청권 지자체 역학조사반 훈련 만족도 조사 결과



훈련으로 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

1. 지자체 역학조사반 훈련의 지속 필요성

역학조사는 감염병 발생 시 신속하고 정확한 대응을 위한 핵심 업무이며, 정기적인 훈련 부재 시, 대응 능력과 전문성이 감소할 우려가 있다. 본 훈련을 통해서 공중보건 위기 상황에서서의 대응 능력을 키우고, 예상치 못한 상황에 대한 대처 연습으로 유연한 문제 해결이 가능하다.

지자체 감염병 대응에 관한 문헌, 본 훈련 결과, 지자체 역학조사반의 인사 상황 등을 다양하게 고려하였을 때, 지자체 역학조사반에 대한 지속적인 교육·훈련은 매우 필요하다. 첫 번째, 감염병 대응 훈련에 있어 다양한 유관기관 간 훈련도 중요하여 다수 시행되고 있지만, 앞서 지자체 감염병 대응의 중심이 되는 지자체 역학조사반 중심의 역량 강화 역시 필요하다는 점도 잘 알려져 있다[1-3]. 두 번째, 훈련 참석자의 기본정보 중 최근 2년 이내 감염병 현장 대응 횟수가 0회 28명

(42.4%), 1회 이상-5회 미만 29명(43.9%)으로 매우 낮은 수치를 보였다. 전반적으로 낮은 감염병 대응 횟수는 곧 초동 대응 역량이 부족할 수 있으나, 훈련에 참여하여 초동 대응 역량을 키울 수 있다. 세 번째, 본 훈련의 사전 이해도 및 감염병 현장 대응 역량 향상 효과 평가의 결과를 보았을 때, 훈련을 통한 지자체 역학조사반의 역량 향상에 긍정적인 결과를 보임으로써 훈련을 통한 자신감 고취 및 능력 함양을 기대할 수 있다. 네 번째, 지자체의 순환근무 방식은 업무 역량 향상, 다양한 경험 축적, 직무 만족도 향상 등을 목적으로 하며, 특정 부서에 장기간 복무 시 일정한 틀에 치우치거나 특정 부서 편중을 일으킬 수 있는 점을 예방하는 효과가 있다. 하지만, 잦은 인사이동으로 인하여 예상되는 역학조사반원의 전문성 저하, 업무 연속성 저하, 사기 저하 등이 우려되는 점 역시 고려하여야 한다.

표 3. 현장 대응 역량 향상 효과 평가 결과에 대한 통계 분석(n=660)

구분	설문 항목	응답수(n)	평균	표준편차	정규성 검정		p값 ^{a)}
					검정 통계량	p값	
사전 이해도	A	66	4.76	1.36	0.90775	<0.001	Ref
	B	66	4.39	1.46	0.93820	0.002	Ref
현장 자료 수집 및 관리	A	66	5.94	0.99	0.84743	<0.001	<0.001
	B	66	5.97	1.02	0.82611	<0.001	<0.001
현장 조사 역량	A	66	5.98	1.02	0.81604	<0.001	<0.001
	B	66	6.09	0.96	0.80057	<0.001	<0.001
상황 분석 및 문제 해결	A	66	6.03	0.98	0.82656	<0.001	<0.001
	B	66	5.97	1.04	0.81784	<0.001	<0.001
의사소통 및 협력 역량	A	66	6.09	0.96	0.81325	<0.001	<0.001
	B	66	6.22	0.84	0.75953	<0.001	<0.001

^{a)}Wilcoxon signed-rank test.

2. 충청권 지자체 역학조사반 훈련 개선 방안

지자체 역학조사반의 지속적인 역량 강화 훈련이 필요함에 따라 예산과 자원이 충족될 필요가 있다. 만약 예산 및 자원이 충족되지 않는 경우, 훈련의 규모를 축소하거나, 훈련 방법을 웹 세미나, 온라인 워크숍으로 진행하는 방법이 있지만, 집중도와 역량 강화 효과가 떨어질 수 있으므로 예산과 자원을 고려하여 훈련 수행 여부에 대해서 신중히 고려해야 한다.

본 훈련의 시나리오는 질병관리청 질병관리역량개발담당관에서 제공한 시나리오를 활용함으로써 이를 바탕으로 한 평가 결과가 특정 상황에만 머무르지 않고, 더 넓은 범위에 적용할 수 있는 장점이 있으며, 현실을 잘 반영한 대표성 있는 시나리오는 실제 상황과 다른 가용성 높은 정보를 기반으로 한 판단 오류를 줄이는 데 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 해당 시나리오의 변경에 대한 논의도 내부에서 이뤄졌으나, 수정함에 따라 발생할 수 있는 몇 가지의 우려가 있었다. 가장 가능성이 높은 시나리오에 집중하는 과정에서, 중요하지만 발생 가능성이 낮은 다른 시나리오 일부를 무시하게 되는 위험, 부적절한 가정이나 편향된 시각으로 시나리오 구성 시, 잘못된 예측 및 의사결정으로 갈 수 있는 위험, 현실의 다양한 변수와 가능성을 모두 고려해야 하므로 시나리오 개발 및 분석 과정의 복잡성 및 많은 시간 소모가 될 수 있다는 점이다. 시나리오 수정

에 대한 사항은 꾸준히 고려해 볼 필요가 있다.

본 훈련에서 지자체 역학조사반원이 더 쉽게 이해할 수 있도록 동영상, 역할극 등의 수단을 통해서 훈련 자료를 보완하였다. 동영상은 시각적인 정보를 제공하여 복잡한 내용을 쉽게 이해할 수 있도록 돕는다[6]. 역할극은 참석자가 직접 참여하여 상황을 경험하고 이해를 높이는 데 효과적이기 때문이다[7]. 두 가지 수단을 추가한 이유는 강의와 토론 기반 훈련 프로그램만으로 훈련을 운영하기에는 훈련 참석자들의 동기 부여 및 집중도 유지에 어려움을 줄 수 있었고, 만족도 조사 결과를 바탕으로 적절한 수단을 추가하였다고 판단된다. 그 외의 교육 방법도 다양하게 존재하여 향후 훈련에 적용하고자 방법을 모색하였다. 여러 교육 방법 중 플립 러닝(flipped learning)은 훈련 참석자가 훈련 전 사전 학습을 하고, 그 내용을 바탕으로 토론 또는 문제 해결을 수행하는 데 적합하며, 게임 기반 학습은 훈련 과정을 촉진할 수 있다[8,9]. 따라서 향후 지자체 역학조사반 훈련 시, 집중도 및 동기 부여 강화와 함께 실제 현장 적용 능력과 이해도 향상을 위해서 온라인으로 먼저 학습한 뒤 진행하는 방식인 플립 러닝과 게임 기반 학습 방법의 적용을 고려하고자 한다.

지자체 역학조사반의 역량 강화는 감염병 위기 상황에 환자 발생 시 효과적인 대응과 감염병 확산 방지 등 국민 건강을

보호하기 위해서 필수적이다. 따라서 지자체 역학조사반 훈련을 꾸준히 운영할 필요가 있으며, 훈련 운영에 있어 개선 방안을 마련하고, 지자체의 적극적인 참여를 독려할 필요가 있다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: We would like to express our sincere gratitude to local government epidemiological investigation team in Chungcheong region and division of disease control capacity building.

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

Author Contributions: Conceptualization: YJS, JRK, YAK. Data curation: YJS, HLL, JMP. Formal analysis: YJS. Investigation: YJS. Methodology: YJS. Resources: YJS. Software: YJS. Supervision: YAK. Validation: HLL, JMP, HYL, SWP, JRK. Visualization: YJS. Writing – original draft: YJS. Writing – review & editing: JRK, YAK.

References

1. Cho SI. Role of the local government in infectious disease-related public health emergency preparedness and response. *J Korean Med Assoc* 2017;60:300-5.
2. Taylor HA, Rutkow L, Barnett DJ. Local preparedness for infectious disease outbreaks: a qualitative exploration of willingness and ability to respond. *Health Secur* 2018;16:311-9.
3. O'Keefe KA, Shafir SC, Shoaf KI. Local health department epidemiologic capacity: a stratified cross-sectional assessment describing the quantity, education, training, and perceived competencies of epidemiologic staff. *Front Public Health* 2013;1:64.
4. Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention (CRCDC). The report on the training of local government epidemiological investigation team in the Chungcheong region of South Korea, 2025. CRCDC; 2025.
5. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Infectious disease portal [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Jul 17]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/index.do>
6. Noetel M, Griffith S, Delaney O, et al. Video improves learning in higher education: a systematic review. *Rev Educ Res* 2021;91:204-36.
7. Moreno-Guerrero AJ, Rodríguez-Jiménez C, Gómez-García G, Ramos Navas-Parejo M. Educational innovation in higher education: use of role playing and educational video in future teachers' training. *Sustainability* 2020;12:2558.
8. Bredow CA, Roehling PV, Knorp AJ, Sweet AM. To flip or not to flip? A meta-analysis of the efficacy of flipped learning in higher education. *Rev Educ Res* 2021;91:878-918.
9. Greipl S, Moeller K, Ninaus M. Potential and limits of game-based learning. *Int J Technol Enhanc Learn* 2020;12:363-89.
1. Cho SI. Role of the local government in infectious disease-

Policy Note

Results of Training Local Government Epidemiological Investigation Team in the Chungcheong Region, Republic of Korea, in 2025

Yeong-Jun Song , Jeong Ran Kwon , Hye-Lim Lee , Jemma Park , Hye Young Lee , Seongwoo Park , Yuna Kim* 

Division of Infectious Disease Response, Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention, Korea Disease Control and Prevention Agency, Daejeon, Korea

ABSTRACT

Objectives: We analyzed the results of a questionnaire survey conducted after the 2025 Chungcheong region local government epidemiological investigation team training to explore ways to improve future training.

Methods: The training evaluation consisted of satisfaction and self-evaluation surveys conducted by a local government epidemiological investigation team in metropolitan cities and provinces, as well as cities, counties, districts, and the Infectious Disease Management Support Team.

Results: In 2025, 31 of the 36 local governments in the Chungcheong region participated in the training, and 66 participants attended the evaluation. Among these, 51 (77.3%) were from the largest cities, counties, and districts. Their average age was 37.4 years (range: 26–56 years), and their average experience was 19.3 months (range: 0–84 months). The average scores (scale: 0–7) for the two items on prior understanding of on-site response were 4.4 and 4.8 points, respectively. The average scores for the eight items on improving on-site response capabilities after the incident ranged from 5.9 to 6.2 points.

Conclusions: This is the first training conducted for local government epidemiological investigation teams in the Chungcheong region. It is necessary to explore ways to encourage local government participation and develop training programs for the future.

Key words: Communicable diseases; Local government; Epidemiology; Education

*Corresponding author: Yuna Kim, Tel: +82-42-229-1520, E-mail: yunaghim@korea.kr

Introduction

Outbreaks of infectious diseases threaten population health and safety and lead to substantial socioeconomic losses. Therefore, it is critical to identify the source through early detection and to mount a rapid response so as to minimize the scale of transmission. Accordingly, the Chungcheong Regional Disease Response Center periodically conducts infectious

disease response training programs for local-government personnel to maintain proactive preparedness during routine periods and continuously strengthen response capacity. From 2021 to 2024, 31 training sessions were conducted in total for local-government infectious disease response personnel and 12 sessions for quarantine station staff. In addition, the first training targeting local-government epidemiologic investigation teams in the Chungcheong region was conducted on June 26,

Key messages

① What was known previously?

The Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention has consistently provided customized capacity-building training to infectious disease response personnel in the region, aiming to control the incidence of communicable diseases and prevent large-scale transmission.

② What new information is presented?

As a result of the training conducted in 2025, the number of onsite responses in the past two years was one to five (43.9%) and zero (42.4%) in most cases. The average level of satisfaction with the training method and operation was 6.3 to 6.5 points.

③ What are the implications of the findings?

Training of local government epidemiological investigation teams should continue to prevent and control infectious diseases, thereby preventing their further spread.

2025.

In the course of responding to public health emergencies, infectious disease control activities of local governments are essential for preventing community transmission [1]. Infectious disease response units of public health centers directly conduct case ascertainment, contact tracing, and management of individuals under isolation, and collaboration among various organizations, including healthcare facilities, municipal and provincial disease control offices, and regional disease response centers, is crucial. Fostering commitment within infectious disease response units of public health centers facilitates efficient infectious disease control and management and is expected to positively affect the national capacity to respond to public health emergencies [2]. Therefore, training designed to strengthen the infectious disease response capacity of local-government

epidemiologic investigation teams is highly necessary [3].

This simulation exercise used the training scenario and budget provided by the Division for Disease Management Capacity Development, Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), with the aim of assessing crisis management systems and strengthening the initial response capacity of local-government epidemiologic investigation teams.

This manuscript was prepared based on “2025 Chungcheong Regional Local-government Epidemiologic Investigation Team Training Results” [4].

Methods**1. Participating Organizations and Roles**

The Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention planned and conducted the training for epidemiologic investigation teams from four metropolitan/provincial governments, 32 cities/counties/districts, and four provincial Infectious Disease Control Support Groups in the Chungcheong region. Related agencies in attendance included the Division of Health and Social Disaster Response of the Ministry of the Interior and Safety and the KDCA Division for Disease Management Capacity Development.

2. Training Topic

The training topic was selected by examining infectious diseases with a high likelihood of importation, given the gradual increase in international travel following the coronavirus disease 2019 pandemic. Measles was selected as the topic because, since Republic of Korea was certified as having eliminated measles in 2014, cases have occurred predominantly as imported or import-related events [5].

3. Training Components

The exercise consisted of lectures, discussion-based training, video viewing, team-based interviews with suspected patients, a survey, and a general review with a closing. The program began with lectures on domestic and international measles trends and response guidelines. The discussion-based component simulated a response to a suspected imported case and included tasks that required answers regarding case recognition by public health centers, interpretation of laboratory results, the need for additional testing, and contact tracing and management (Figure 1). The scenario depicted a family's overseas travel to visit parents and for sightseeing, their return to Republic of Korea, and a subsequent measles diagnosis,

presenting symptoms, day-by-day movements, and test results.

In addition, after viewing one video on the domestic measles situation and one World Health Organization video providing information on measles, participants conducted role-play interviews, including impromptu questions, in pairs as suspected patients and local-government epidemiologic investigation teams. The survey was administered using a quick response code, and the exercise concluded with a general review and closing.

4. Training Evaluation

For the evaluation, both local-government epidemiologic investigation teams and related-agency participants completed

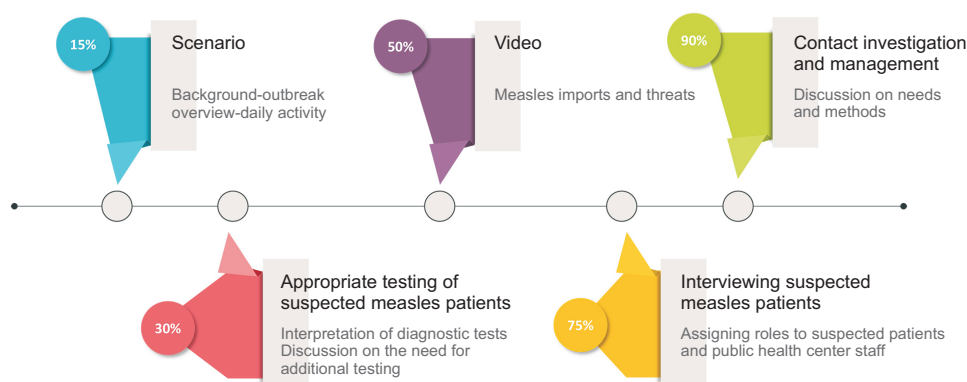


Figure 1. Flow chart of training

Table 1. Overview of training evaluation

Category	Content of evaluation	Composition of the item
Satisfaction survey	Evaluation of the appropriateness of the training program - Appropriateness of the training content, method and operation, etc.	• 5 questions • On a 7-point scale (not at all–very much so) • Out of 7
Self-assessment	Evaluation of the improvement of field response capabilities - Preliminary understanding - Field data collection and management, field investigation capabilities, situation analysis and problem solving, communication and cooperation capabilities, etc.	• 10 questions • On a 7-point scale (not at all–very much so) • Out of 7

a satisfaction survey and a self-assessment questionnaire. The questionnaire broadly comprised questions on training satisfaction and a self-assessment domain addressing improvements in field response capacity (Table 1). A 7-point Likert scale was used to assess the items on training satisfaction and improvement in field response capacity, where a score of 1 indicated strong disagreement and that of 7 indicated strong agreement. Within the field response capacity domain, the pre-training responses comprised two items on baseline understanding and the post-training responses consisted of two items each on field data collection and management, field investigation capacity, situational analysis and problem-solving, and communication and collaboration, totaling 10 items across the pre- and post-training periods.

5. Analytic Methods for Data Evaluation

Statistical analyses were performed using R-4.5.0 for Windows (R Foundation for Statistical Computing). After a Shapiro-Wilk test for normality, differences between pre- and post-training scores were evaluated using the Wilcoxon signed-rank test, and the significance threshold was set at $\alpha=0.05$.

Results

The 2025 training for the Chungcheong regional local-government epidemiologic investigation teams was held on June 26, with a total of 66 participants completing the survey, yielding 66 valid responses (100.0%) that were analyzed.

1. Participant Characteristics

Among the 66 participants, 52 were females (78.8%), constituting the majority; the mean participant age was 37.4 years.

By age group, most participants were in their 30s (50.0%), followed by those in their 40s (19.7%) and 20s (16.7%). By occupation, administration and health roles accounted for 52 individuals (78.8%), the largest group. The average tenure at the current institution was 19.3 months. Tenure categories were 6

Table 2. Characteristics of training attendees

Category	Case (n)	Proportion (%)
Sex		
Male	14	21.2
Female	52	78.8
Age group (yr)		
20s	11	16.7
30s	33	50.0
40s	13	19.7
50s	9	13.6
Affiliation		
Province	6	9.1
County	51	77.3
Infectious disease management support team	6	9.1
The others	3	4.5
Occupational category (group)		
Epidemiology	8	12.1
Research	6	9.1
Administration and health	52	78.8
A career in the present institution (mo)		
<6	7	10.6
6–11	21	31.8
12–23	16	24.2
24–59	18	27.3
≥60	4	6.1
Number of field experience related to infectious diseases within the past 2 yr		
None	28	42.4
1–4	29	43.9
5–10	5	7.6
≥11	4	6.1
Total	66	100.0

to <12 months for 21 participants (31.8%), 24 to <60 months for 18 (27.3%), and 12 to <24 months for 16 (24.2%). The number of field responses to infectious disease events in the previous 2 years was 1 to <5 for 29 participants (43.9%) and 0 for 28 (42.4%) (Table 2).

2. Evaluation Findings

On the 7-point satisfaction survey evaluating the helpfulness of infectious disease work, alignment of content with training objectives, appropriateness of understanding and performance, suitability of instructional methods, and adequacy of guidance and support, the mean scores by item ranged from 6.3 to 6.5, indicating generally favorable responses (Figure 2).

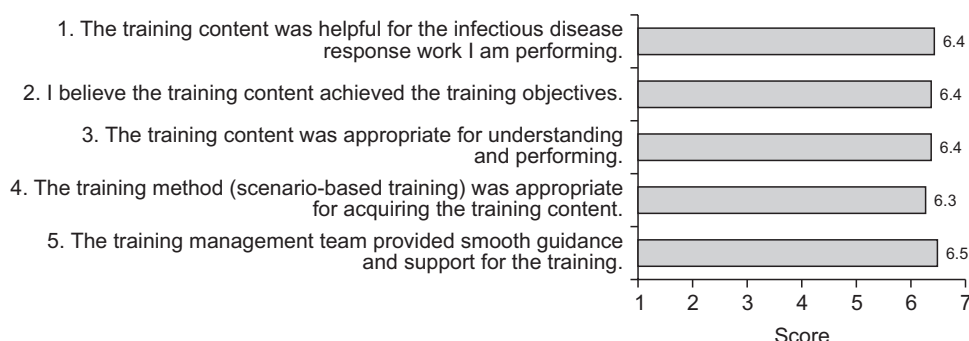


Figure 2. Results of satisfaction with the training of the local government epidemiological investigation team in the Chungcheong region in Republic of Korea, 2025

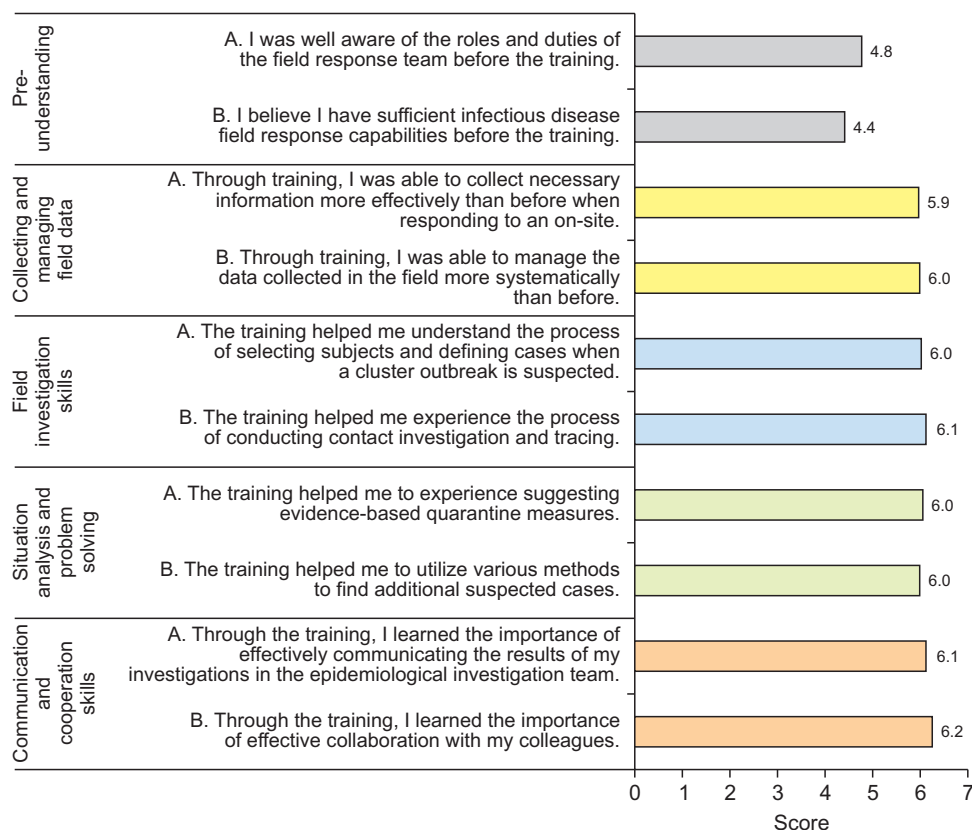


Figure 3. Results of the evaluation of the improvement of field response capabilities

Regarding the evaluation of improvement in field response capacity, the scores for baseline understanding (pre-training) ranged from 4.4 to 4.8, while post-training scores for field data collection and management, field investigation capacity, situational analysis and problem-solving, and communication and collaboration were 5.9–6.0, 6.0–6.1, 6.0, and 6.1–6.2, respectively (Figure 3). Normality test results for each survey item were not statistically significant. Statistically significant differences were observed between the pre-training baseline understanding and each of the four post-training domains: field data collection and management, field investigation capacity, situational analysis and problem-solving, and communication and collaboration (Table 3).

Discussion

This training for local-government epidemiologic investigation teams in the Chungcheong region employed scenarios to assess crisis management systems and strengthen the initial response capacity. It also confirmed and shared the respective roles of the Chungcheong Regional Center for Disease

Control and Prevention, local governments in the region, and the Infectious Disease Control Support Groups, and achieved the objective of reaffirming inter-agency contact networks and reviewing inter-institutional roles.

As the first training for local-government epidemiologic investigation team members in the Chungcheong region, the implications of this exercise were as follows.

1. Ongoing Need for Training of Local-government Epidemiologic Investigation Teams

Epidemiologic investigation is a core function for a rapid and accurate response during outbreaks, and without regular training, there is concern for diminished capability and expertise. This training builds response capacity for public health emergencies and provides practice for handling unforeseen situations, enabling flexible problem-solving.

Considering the literature on local-government infectious disease responses, the findings from this training, and personnel conditions of local teams, sustained education and training for local-government epidemiologic investigation teams are highly necessary. First, although multi-agency exercises are

Table 3. Statistic analysis of the results of the evaluation of the improvement of field response capabilities (n=660)

Category	Item	Case (n)	Mean	Standard deviation	Shapiro-Wilk test		p-value ^{a)}
					W	p-value	
Pre-understanding	A	66	4.76	1.36	0.90775	<0.001	Ref
	B	66	4.39	1.46	0.93820	0.002	Ref
Collecting and managing field data	A	66	5.94	0.99	0.84743	<0.001	<0.001
	B	66	5.97	1.02	0.82611	<0.001	<0.001
Field investigation skills	A	66	5.98	1.02	0.81604	<0.001	<0.001
	B	66	6.09	0.96	0.80057	<0.001	<0.001
Situation analysis and problem solving	A	66	6.03	0.98	0.82656	<0.001	<0.001
	B	66	5.97	1.04	0.81784	<0.001	<0.001
Communication and cooperation skills	A	66	6.09	0.96	0.81325	<0.001	<0.001
	B	66	6.22	0.84	0.75953	<0.001	<0.001

^{a)}Wilcoxon signed-rank test.

important and widely conducted, it is also well established that capacity building focused on local-government epidemiologic investigation teams, which are central to the infectious disease response of local governments, is equally necessary [1-3]. Second, with regard to participant characteristics, the number of field responses to infectious disease events in the previous 2 years was 0 for 28 individuals (42.4%) and 1 to <5 for 29 (43.9%), indicating relatively low exposure. Overall, low numbers of responses may indicate a limited initial response capacity; however, participation in training can strengthen initial response capabilities. Third, the results for baseline understanding and for improvement in field response capacity showed positive effects of the training, suggesting that confidence and competencies among local-government teams can be enhanced through training. Fourth, rotational assignments within local governments aim to improve job competence, accumulate diverse experience, and increase job satisfaction, and they help prevent drift toward rigid routines or bias toward particular departments that may occur with prolonged tenure. However, frequent personnel changes may reduce expertise, disrupt continuity, and decrease morale among members of epidemiologic investigation teams, which requires consideration.

2. Areas for Improvement in the Chungcheong Regional Local-government Training

Sustained capacity-building for local-government epidemiologic investigation teams requires adequate budget and resources. If budget and resources are insufficient, reducing the scale of the training or delivering it via webinars or online workshops is possible. However, such formats may lessen engagement and capacity-building effects, so their implementation should be weighed carefully in light of available resources.

Using the scenario provided by the KDCA Division for Disease Management Capacity Development confers the advantage that evaluation findings are not confined to a single context but can be applied more broadly, and a representative scenario that reflects real-world conditions can have a positive effect in terms of reducing judgment errors based on highly available information that differs from the actual situation. Internal discussions also addressed modifying the scenario; however, several concerns were identified regarding the potential consequences of such revisions. The risks include overlooking some scenarios that are important but have low likelihood by focusing on the most probable scenario, generating incorrect predictions and decisions if scenarios are built on inappropriate assumptions or biased perspectives, and increased complexity and time consumption in scenario development and analysis owing to the need to consider diverse real-world variables and possibilities. Continued consideration of scenario revisions is warranted.

To facilitate understanding among local-government team members, the training materials were supplemented with videos and role-play. Videos provide visual information that helps make complex content easier to understand [6]. Role-play is effective because participants directly engage, experience the situation, and deepen understanding [7]. These two modalities were added because operating the program with lectures and discussion alone could lessen motivation and sustained attention among participants; satisfaction survey results supported the decision to incorporate appropriate supplementary methods. Additional educational methods were explored for potential application in future training. Among various approaches, flipped learning is suitable for pre-session study followed by discussion or problem-solving, and game-based learning can

facilitate the training process [8,9]. Therefore, for future training of local-government epidemiologic investigation teams, the application of flipped learning (with online pre-learning) and game-based learning will be considered to enhance engagement and motivation and to improve practical applicability and understanding.

Strengthening the capacity of local-government epidemiologic investigation teams is essential for protecting public health by enabling effective responses when cases occur during emergencies and preventing the transmission of infectious diseases. Thus, it is necessary to conduct such training on a continuing basis, make ongoing improvements to program delivery, and encourage active participation by local governments.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: We would like to express our sincere gratitude to local government epidemiological investigation team in Chungcheong region and division of disease control capacity building.

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

Author Contributions: Conceptualization: YJS, JRK, YAK. Data curation: YJS, HLL, JMP. Formal analysis: YJS. Investigation: YJS. Methodology: YJS. Resources: YJS. Software: YJS. Supervision: YAK. Validation: HLL, JMP, HYL, SWP, JRK. Visualization: YJS. Writing – original

draft: YJS. Writing – review & editing: JRK, YAK.

References

1. Cho SI. Role of the local government in infectious disease-related public health emergency preparedness and response. *J Korean Med Assoc* 2017;60:300-5.
2. Taylor HA, Rutkow L, Barnett DJ. Local preparedness for infectious disease outbreaks: a qualitative exploration of willingness and ability to respond. *Health Secur* 2018;16:311-9.
3. O'Keefe KA, Shafir SC, Shoaf KI. Local health department epidemiologic capacity: a stratified cross-sectional assessment describing the quantity, education, training, and perceived competencies of epidemiologic staff. *Front Public Health* 2013;1:64.
4. Chungcheong Regional Center for Disease Control and Prevention (CRCDC). The report on the training of local government epidemiological investigation team in the Chungcheong region of South Korea, 2025. CRCDC; 2025.
5. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). Infectious disease portal [Internet]. KDCA; 2025 [cited 2025 Jul 17]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/index.do>
6. Noetel M, Griffith S, Delaney O, et al. Video improves learning in higher education: a systematic review. *Rev Educ Res* 2021;91:204-36.
7. Moreno-Guerrero AJ, Rodríguez-Jiménez C, Gómez-García G, Ramos Navas-Parejo M. Educational innovation in higher education: use of role playing and educational video in future teachers' training. *Sustainability* 2020;12:2558.
8. Bredow CA, Roehling PV, Knorp AJ, Sweet AM. To flip or not to flip? A meta-analysis of the efficacy of flipped learning in higher education. *Rev Educ Res* 2021;91:878-918.
9. Greipl S, Moeller K, Ninaus M. Potential and limits of game-based learning. *Int J Technol Enhanc Learn* 2020;12:363-89.

심뇌혈관질환 사망률 추이, 2014-2024년

2024년 우리나라의 심뇌혈관질환 사망률은 인구 10만 명당 심장질환 65.7명, 뇌혈관질환 48.2명으로 2023년 대비 각각 0.9명 증가하였다(그림 1). 심장질환은 10년 전보다 13.3명 증가하였으며, 전년 대비 심장질환과 뇌혈관질환으로 인한 사망률 모두 증가하고 있다.

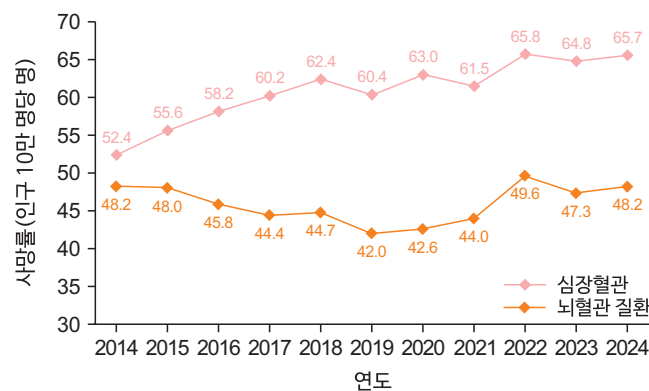


그림 1. 심뇌혈관질환 사망률 추이(2014-2024년)

*질병분 류코드: 심장질환(I20-I51), 뇌혈관질환(I60-I69)

출처: 통계청, 2024년 사망원인통계(2025)

작성자: 질병관리청 만성질환관리국 만성질환관리과 유연희 

QuickStats

Cardio-cerebrovascular Disease Mortality Trends, 2014–2024

In 2024, the mortality rate from heart disease and cerebrovascular disease in Republic of Korea were 65.7 and 48.2 per 100,000 population, respectively. Compared with 2023, these rates increased by 0.9 deaths per 100,000 for both heart disease and cerebrovascular disease (Figure 1). Over the decade, the mortality rate from heart disease has risen by 13.3 deaths per 100,000, and both heart disease and cerebrovascular disease mortality have shown an upward trend compared with the previous year.

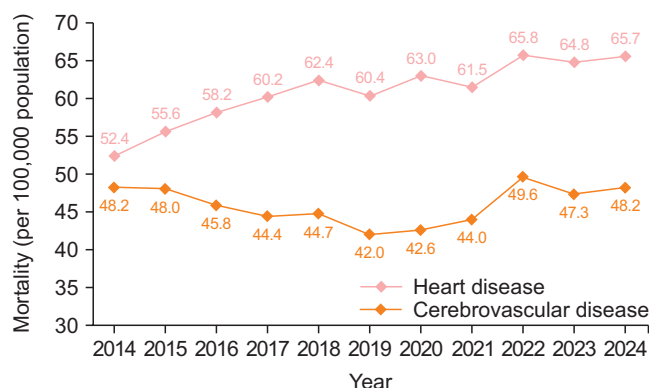


Figure 1. Cardio-cerebrovascular disease mortality trends, 2014–2024

*International classification of diseases (I.C.D): heart diseases (I20–I51), cerebrovascular diseases (I60–I69)

Source: Statistics Korea, Causes of Death Statistics in 2024 (2025)

Reported by: Yeonhee Yoo , Division of Chronic Disease Control, Department of Chronic Disease Prevention and Control, Korea Disease Control and Prevention Agency