



국가 하수(下水) 기반 감염병 감시체계 구축 및 운영

장진화^{1,2}, 박신영^{1,2}, 김성순^{1,2*}, 김아라², 최유정², 김서현¹, 강애리^{1,2}, 이상원³, 권동혁^{1,2*}

¹질병관리청 위기대응분석관 위기대응연구담당관, ²질병관리청 중앙방역대책본부 역학조사분석단 정보분석팀, ³질병관리청 위기대응분석관

초 록

전 세계적인 코로나바이러스감염증-19 대유행으로 지역사회 내 감염병 발생을 선제적으로 감시 및 대응할 수 있는 수단으로 하수(下水) 기반 감시체계(wastewater-based surveillance)가 미국, 유럽 등 많은 국가에서 주목을 받게 되었으며 국가 감염병 감시 정책에 적극 활용되고 있다. 질병관리청은 2021년부터 시범사업을 통해 하수 기반 감염병 감시의 국내 적용 시 효과성을 입증하는 연구를 수행하고 있으며 전국적 하수 기반 감시체계 도입을 위한 운영 기반을 마련하였다. 이를 바탕으로 2023년 국가 하수 기반 감염병 감시(KOrea WAstewater Surveillance, KOWAS) 사업을 전국 17개 시도의 18개 보건환경연구원과 협력하여 수행하고 있다. 향후 관계부처와의 협업을 통해 하수 기반 감염병 감시 대상 및 범위를 확대하고 실험기법의 고도화를 통하여 국가 감염병의 위기상황을 대비, 대응할 수 있는 감시 기반을 마련해 나갈 것이다.

주요 검색어: 감염병; 감염병 감시; 하수 기반 감시; 코로나바이러스감염증-19

서 론

2019년 12월 중국에서 시작된 코로나바이러스감염증-19(코로나19)의 전 세계적인 대유행으로 인해 수많은 코로나19 확진자와 사망자가 발생하였다. 국내에서는 코로나19 확진자가 첫 보고된 2020년 1월 20일부터 2022년 4월 24일까지 코로나19를 제1급 법정감염병으로 지정하였으며, 그 이후부터 현재까지 제2급 법정감염병으로 지정하여 전수감시 대상으로 관리하고 있다[1]. 이처럼 전 세계적인 코로나19 대

유행으로, 지역사회 내 감염병의 발생을 선제적으로 감시 및 대응할 수 있는 하수(下水) 기반 감시체계(wastewater-based surveillance)는 미국, 유럽, 일본 등 많은 국가에서 주목을 받게 되었으며 국가 감염병 감시 정책에 적극 활용되고 있다[2]. 우리나라도 질병관리청 주관 국정과제 「감염병 대응체계 고도화」 중 2-②-4 「하수 기반 감염병 감시체계 구축」을 포함하여 중점적으로 추진 및 관리하고 있다[3]. 질병관리청은 2022년 4월 15일 포스트오미크론 대응계획 중 ‘신종 변이 및 재유행 감시체계 강화’ 방안의 하나로 지역사회 감염병 발생을 조기

Received March 2, 2023 Revised March 13, 2023 Accepted March 13, 2023

*Corresponding author: 김성순, Tel: +82-43-719-7730, E-mail: sskim0719@korea.kr

권동혁, Tel: +82-43-719-7950, E-mail: vethyok@korea.kr

권동혁 현재 소속: 질병관리청 역학조사분석담당관(Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju / Director for Epidemiological Investigation Analysis)

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, 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?

2020년, 코로나19 대유행을 시작으로 해외에서는 임상 감시의 보조적 수단으로써 하수 기반 감시기술의 활용이 증가하고 있는 추세이다.

② 새로이 알게 된 내용은?

하수 기반 감염병 감시는 기존 임상감시 체계의 무증상자 선제감시 어려움, 개인정보 유출 우려, 예산 등의 한계점을 보완할 수 있는 감염병 감시체계로 전 세계적으로 적극 활용되고 있다. 질병관리청은 2023년도 '새로운 역학감시체계 구축(하수 감시)'의 운영을 통하여 전국 17개 시도 대상 국가 하수 기반 감염병 감시(KOrea WAstewater Surveillance, KOWAS) 사업을 추진하고 있다.

③ 시사점은?

하수 기반 감염병 감시체계의 성공적인 구축 및 효율적인 운영을 위해 관련 부처의 협력과 법적 근거 등 정책적인 뒷받침이 필요하다.

인지하기 위해 하수 기반 감염병 감시체계를 도입하고 전국적 운영을 목표로 단계적 확대 계획을 수립하였다[1]. 또한, 제3차(2023-2027년) 감염병의 예방 및 관리에 관한 기본계획에 하수 기반 감염병 감시체계 구축 내용을 포함하였다.

이에 질병관리청은 2021년부터 시범사업을 통해 하수 기반 감염병 감시의 국내 적용 시 효과성 평가 연구를 수행하였으며 이를 바탕으로 2023년 국가 하수 기반 감염병 감시(KOrea WAstewater Surveillance, KOWAS) 사업을 전국 17개 시도의 18개 보건환경연구원과 협력하여 수행하고 있다. 본 정책 보고를 통해 질병관리청에서 수행하고 있는 국가 하수 기반 감염병 감시에 대해 소개하고 향후 발전방향에 대해 논의하고자 한다.

본 론

1. 감염병 감시 체계의 정의

감염병 '감시'란 감염병 발생과 관련된 자료, 감염병 병원체 및 매개체에 대한 자료를 체계적이고 지속적으로 수집, 분석 및 해석하고 그 결과를 제때에 필요한 사람에게 배포하여 감염병 예방 및 관리에 사용하도록 하는 일체의 과정을 말한다(감염병예방법 제2조제16호). 감시체계의 종류는 전수감시, 표본감시, 보완감시로 나뉜다. '전수감시(mandatory surveillance)'는 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」 제11조에 의하여 모든 의사, 치과의사, 한의사, 의료기관의 장, 부대장(군의원), 감염병 병원체 확인기관의 장이 신고 의무를 갖는 감시체계이다. '표본감시(sentinel surveillance)'는 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」 제16조에 따라 감염병 표본감시기관을 지정하고, 지정된 기관에 한하여 신고를 받아 운영하는 감시체계이다. '보완감시(supplementary surveillance)'는 감염병 감시체계를 보완하고, 법정감염병에 속하지 않으나 발생상황과 추이에 대한 모니터링이 필요한 감염병을 포함하여 능동적으로 신속하게 대처하기 위한 감시체계이다[4]. 하수 기반 감염병 감시는 2023년 감염병 관리사업 안내 지침에 신설되어 질병관리청에서 주관하고 있으며 기존의 감시체계를 보완할 수 있는 새로운 감염병 감시 방법이다.

2. 국가 하수(下水) 기반 감염병 감시 추진배경

하수 기반 감시에 대한 연구는 해외에서 꾸준히 수행되어 왔으며 하수 샘플 내 다양한 정보를 분석하여 병원체 및 건강 지표 모니터링 등을 수행할 수 있다. 하수 감시의 주요 목적으로 1) 불법 의약품 및 마약류, 2) 감염성 병원체 및 세균, 3) 인구 마커(population markers), 4) 산업화학 물질 노출 마커, 5) 스트레스, 음식, 식단 마커, 생물학적 마커 등에 대한 모니터링 및 감시를 수행할 수 있다[5]. 특히, 2019년 12월 코로나19 대유행을 시작으로 해외에서는 유증상 감염자만을 파악

할 수 있는 임상 감시의 보조적 수단으로써, 유증상, 무증상 감염을 추적하고 관리하기 위해 하수 기반 감시기술의 활용이 증가하고 있는 추세이다[6]. 2020년 초 네덜란드 및 호주의 6 개 하수처리장 유입하수에서 코로나19의 유전적 흔적(genetic signal)이 코로나19 확진자 수와 함께 증가하는 것이 보고된 이후, 전 세계에서 하수 기반 감시체계를 주목하였다[7].

미국 보건복지부(Health and Human Services)와 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention)는 국가 하수 감시 기관 간 리더십 위원회(National Sewage Surveillance Interagency Leadership Committee, NSSIL)를 구성하여 이를 통해 NSSIL 회원 기관들은 코로나19 사례 및 데이터의 수집, 분석 및 통합을 위한 국가 하수 감시체계(National Wastewater Surveillance System)를 개발 및 수행하여 정책 결정을 지원하고 있다[8]. 2023년 2월까지 미국 전역 1,300곳 이상의 하수처리장에서 코로나19 감시를 수행하고 있다[9]. 세계보건기구(World Health Organization)에서도 코로나19 환경 감시 내용 중 하수 기반 코로나19 감시 지침을 발표(2022년 4월)하였으며, 14차 국제보건규칙(International Health Regulations) 회의 결과 코로나19의 공중보건위기(Public Health Emergency of International Concern) 유지 선언과 함께 ‘하수 감시’를 권고(2023년 1월 30일)하였다 [10,11].

하수를 활용한 감염병 감시의 장점은 다음과 같다. 1) 코로나19 등의 환자 감시 경우, 증상 유무에 상관없이 환자에서 배출되는 바이러스를 임상 검체보다 6-8일 조기 검출이 가능하다. 2) 개인의 사생활 침해 없이 환자 감시가 가능하다. 3) 시기별, 지역별 주기적 모니터링이 가능하다. 4) 사전 모니터링 목적으로 임상감시에 비해 예산 절감 효과가 크다. 5) 하수 샘플에서 코로나19 외 바이러스 변이 및 항생제 내성균, 수인성 질환 관련 인자 등의 국민건강과 관련된 다양한 병원체의 감시가 가능하다. 하수 기반 감염병 감시체계는 개인의 사생활 침해 없이, 지역 내에서 주기적인 모니터링이 가능하므로, 신종 감염 병원체의 조기검출이 가능하다[12]. 따라서, 기존의 임상 감시와 병행할 수 있는 전국적 하수 기반 감염병 감시체계 구축 시 지역사회 내 효율적 감염병 감시를 통해 신종 감염병 대응기반을 마련할 수 있다(그림 1).

3. 국가 하수(下水) 기반 감염병 감시 시범사업 수행결과

하수 기반 감염병 감시는 지역사회 내 하수 감시(community wastewater-based surveillance)와 건물 수준의 하수 감시(building-level wastewater surveillance)로 구분할 수 있다. 지역사회 내 하수 감시는 하수처리장을 기반으로 지역사회 수준의 하수 모니터링을 통해 바이러스 전파의 시간적 경향을 제공한다. 하지만 여러 출처의 하수가 희석되거나 혼합되어 배



그림 1. 하수 기반 감염병 감시 사업 (KOWAS) 감시 체계 모식도
KOWAS=Korea WAstewater Surveillance.

출되기 때문에 공간적 경향을 설명할 수는 없다. 반면 건물 수준의 하수 감시는 학교, 교도소, 병원 등 특정 건물을 타겟하여 감시하므로 잠재적인 감염 핫스팟이 발견되면 대상별 개입(검사 확대, 마스크 착용, 사회적 거리두기 등)을 진행할 수 있는 근거가 될 수 있다[13].

질병관리청은 2021년부터 정책연구용역 ‘하수를 이용한 감염병 감시체계 도입방안 연구(연구책임자: 고려대학교 김성표 교수)’를 통해 지역사회 내 하수 감시를 위해 세종특별자치시 대상 하수 역학 기반 감염병 감시 모니터링 체계 구축을 위한 시범사업을 수행하였다. 세종특별자치시 내 하수처리장, 교육기관, 다중이용시설, 의료기관 등에서 채취한 총 66건의 하수 샘플에서 32종의 감염병을 모니터링한 결과, SARS-CoV-2 포함 총 11종의 병원체가 검출되었다. 또한, 하수 샘플에서 분석된 감염성 병원체와 임상진단 기반 신고 건수 간에 유사한 경향을 보여 하수 기반 감시체계를 통한 감염병 모니터링 가능성을 확인하였다. 이외, 건물 수준의 하수 감시를

위하여 세종특별자치시 소재 요양병원 및 요양원 등을 대상으로 하수 기반 SARS-CoV-2의 주기적 감시를 수행하였다. 그 결과, 하수 샘플에서 분석된 병원체와 임상진단 기반 신고건수 간에 유의미한 경향이 있는지에 대한 연구를 수행 중이다. 이러한 연구결과를 바탕으로 국내 하수 기반 감염병 감시의 유용성을 확인하였으며, 2022년 정책연구용역 ‘지역 기반 하수를 이용한 감염병 감시체계 구축’ 사업을 통하여 지역별 상황에 맞는 하수 기반 감시체계 구축 및 전국적 하수 감시 결과 통합을 위한 하수 감시 실험기법 정도관리를 실시하였다. 그리하여 전국 17개 시도의 18개 보건환경연구원별 하수 기반 감염병 감시 체계 도입 및 지역별 하수 감시 운영 기반을 마련하였다.

4. 국가 하수(下水) 기반 감염병 감시 사업 운영현황

질병관리청은 2023년 국고보조사업으로 ‘새로운 역학감시체계 구축(하수 감시)’을 운영하고 있다. 전국적 국가 하수

표 1. 2023년 하수 기반 감염병 감시 사업(KOWAS) 참여 기관

시·도	보건환경연구원 명	보건환경연구원 기관 수	감시 대상 하수처리장
계		18	64
서울특별시	서울특별시 보건환경연구원	1	5
부산광역시	부산광역시 보건환경연구원	1	3
대구광역시	대구광역시 보건환경연구원	1	2
인천광역시	인천광역시 보건환경연구원	1	5
광주광역시	광주광역시 보건환경연구원	1	3
대전광역시	대전광역시 보건환경연구원	1	2
울산광역시	울산광역시 보건환경연구원	1	4
세종특별자치시	세종특별자치시 보건환경연구원	1	3
경기도	경기도 보건환경연구원	1	1
	경기도 보건환경연구원 북부지원	1	1
강원도	강원도 보건환경연구원	1	3
충청북도	충청북도 보건환경연구원	1	5
충청남도	충청남도 보건환경연구원	1	1
전라북도	전라북도 보건환경연구원	1	2
전라남도	전라남도 보건환경연구원	1	8
경상북도	경상북도 보건환경연구원	1	5
경상남도	경상남도 보건환경연구원	1	3
제주특별자치도	제주특별자치도 보건환경연구원	1	8

KOWAS=KOrea WAstewater Surveillance.

기반 감염병 감시(KOWAS) 사업의 원활한 수행을 위하여 질병관리청 「2023년도 감염병 관리 사업 안내 지침」에 하수 기반 감염병 감시(KOWAS)를 신설하였다. 본 사업의 목표는 지역별 하수 기반 감염병 감시를 통해 지역사회 내 하수에서의 주요 감염병 발생상황과 추이에 대한 감시체계를 구축하는 것으로 질병관리청 및 시·도 보건환경연구원(전국 18개소)이 연계하여 국내 지역별 하수처리장을 중심으로 주기적 하수 샘플 내 감염성 병원체 등을 감시하는 것이다. 참여 기관별 역할은 다음과 같다. 1) 질병관리청 : 사업 계획수립, 예산 확보 및 교부, 감시결과 취합, 주간 감시보고서 작성, 실험실 관련 기술지원 및 정도관리, 검사법 개선, 권역별 감시대상 발굴 및 특화사업 추진, 2) 시·도 보건환경연구원 : 하수처리장 및 감시 대상 병원체 선정, 하수 내 병원체 분석 및 결과 보고 등, 3) 환경부 : 하수처리장 내 하수 샘플 채취 지원을 바탕으로 사업을 수행하고 있다(표 1).

주요 하수 감시 대상 필수 병원체는 SARS-CoV-2, norovirus, human influenza virus (A/B), 항생제 내성균(2023년 하반기)으로 이 외 A형간염 바이러스, 급성호흡기 바이러스, 장내 세균, 기타 병원체 등 지자체별 상황에 맞추어 추가 감시가 가능하다. 또한, 해외 신종 감염병의 국내 유입 시 하수 감시 대상 병원체로 추가하여 모니터링 함으로써 선제적으로 해외유입 감염병의 감시 기반을 마련할 수 있다. 2023년도 감시 대상 하수처리장은 전국 64개소이며 지역별 주 1회 이상 감시 결과를 질병관리청으로 보고하고 있다(표 2, 그림 2).

표 2. 2023년 하수 기반 감염병 감시 사업(KOWAS) 감시 대상 병원체

구분	병원체 명
필수	SARS-CoV-2
	Norovirus
	Human influenza virus (A/B)
	항생제 내성균(2023년 하반기)

필요시 필수 감시 대상 병원체 추가 가능(해외유입 신종감염병 등) 및 지자체별 상황에 맞추어 추가 감시 가능.

KOWAS=KOrea WAstewater Surveillance.

5. 국가 하수(下水) 기반 감염병 감시 향후 계획 및 발전 방향

질병관리청은 감염병 위기 및 환경변화에 대한 능동적 대비 및 대응 방안을 제시하고 신종 감염병 위기 대응체계 고도화 및 지역사회 역량 강화 방안 중 하나로 지역사회 내 하수처리장을 기반으로 하수 기반 국가감염병 감시 사업을 수행하고 있다. 필수 3종 하수 감시 대상 병원체(SARS-CoV-2, norovirus, human influenza virus (A/B)) 외 추가로 항생제 내성균 감시를 추가 수행할 예정이며, 하수 기반 감염병 감시 사업의 원활한 수행을 위하여 하수 검체 이송체계를 구축할 예정이다. 이를 바탕으로 하수처리장 대상 하수 검체 이송 표준운영절차를 개발하고 참여 기관을 관리 및 지원할 계획이다. 이와 유사하게 네덜란드 정부에서도 전국 지자체에서 하수 기반 감염병 감시망을 운영하고 있으며 약 300여 개의 하수처리시설로부터 샘플을 받아 주 3회 이상 SARS-CoV-2를 분석하여 그 결과를 네덜란드 정부의 코로나19 Dashboard에 공개적으로 제공하고 있다[14]. 질병관리청에서도 전국 보건환경연구원의 주기적인 하수 감시 결과 취합을 통하여 지역별 지리정보 연동 가시화 웹페이지를 구축하여 국민에게 공개할 예정이다

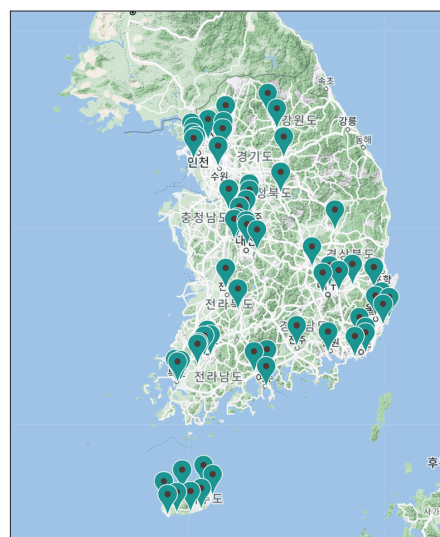


그림 2. 하수 기반 감염병 감시 사업(KOWAS) 대상 지역별 하수처리장

KOWAS=KOrea WAstewater Surveillance.

다. 중장기 계획으로는 해외 입국자로 인한 해외유입 감염병 발생 조기 인지를 위한 공항 및 항만 중심 오수 기반 감염병 감시를 관련 부서 및 기관과 협력하여 추진할 계획이다. 또한, 병원 및 요양시설, 학교, 교정시설 등 감염병 집단 발생 위험이 높은 집단 시설에 대해서 일부 시도에서는 시범적으로 건물 수준의 하수 감시를 함께 수행할 예정이다. 또한, 지역사회 내 하수 감시를 위하여 감시 대상 지역 및 대상 병원체를 점진적으로 추가 확대할 예정이며 신종 감염병의 국내 유입 시 감시 대상에 추가하여 선제적 감시체계 운영 계획을 수립하고 있다.

국외에서 시행되고 있는 하수 기반 감염병 감시에서 제기되고 있는 제한점 중 하나로 지표수 유입으로 인한 오염 및 희석 등으로 인해 하수 성상에 따라 실험 결과가 달라지는 한계가 존재하여 주로 하수 기반 감염병 감시의 결과는 임상 진단기법의 보조적 수단으로 활용된다. 질병관리청에서는 KOWAS 사업의 하수 감시 실험 기법의 고도화를 위해 전국 보건환경연구원에 하수 검체 분석 특화 농축 및 추출 실험장비를 도입하여 하수 검체 처리 시간 단축 및 대응량 검체 PCR 처리를 통해 분석효율을 향상시키고 실험법의 표준화로 지역별 하수 감시 결과 비교 및 효과적인 모니터링이 가능하도록 할 계획이며, 이를 위해 관련 예산을 지속적으로 확보할 계획이다. 또한 주기적으로 전국 18개 보건환경연구원과 지속 협력하여 하수 기반 국가 감염병 감시 사업을 바탕으로 지역사회 내 감염병 감시뿐만 아니라 특정 집단 시설(병원 및 요양시설, 학교, 교정시설 등) 및 항공·항만을 오수를 통한 해외유입 감염병을 선제적으로 감시할 수 있는 등 국가 하수 기반 감시사업으로 지속 발전시켜 나가고자 한다.

결 론

하수 기반 감염병 감시는 기존 임상감시 체계의 무증상자 선제감시 어려움, 개인정보 유출 우려, 막대한 예산 소요 등

여러 한계점을 보완할 수 있는 새로운 감염병 감시체계로 미국, 영국, 일본 등 전 세계적으로 포스트오미크론 대응 전략으로 적극 활용되고 있다. 국내에서도 이러한 흐름에 맞게 관련 정책을 추진하고 있다. 질병관리청은 2021년부터 하수 기반 감염병 감시 사업을 수행하고 있으며 2023년도 국고보조사업 '새로운 역학감시체계 구축(하수 감시)'의 운영을 통하여 전국 17개 시도 대상 국가 하수 기반 감염병 감시(KOWAS) 사업을 18개 보건환경연구원, 하수처리장 및 관련 부처와 협력하여 수행하고 있다. 국가 하수 기반 감염병 감시(KOWAS) 사업은 앞으로도 지속적인 발전과 실험 기법의 고도화를 통하여 국가 감염병의 위기상황을 대비, 대응할 수 있는 감시 기반을 마련할 계획이다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: Thanks to department related to the Institute of Health & Environment Research, which is participating in the KOWAS project, and Ministry of Environment and Wastewater Treatment Plants for their cooperation in collecting sewage samples.

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

Author Contributions: Conceptualization: JJ. Visualization: JJ. Writing – original draft: JJ, SYP, AK, YJC. Administrative support: SHK, AK. Writing – review & editing: SSK, SL, DK.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency Press

- Release (April 15 2022) Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20501010000&bid=0015&list_no=719317&cg_code=&act=view&nPage=63
2. Wu F, Xiao A, Zhang J, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 across 40 U.S. states from February to June 2020. *Water Res* 2021;202:117400.
 3. Ministry of Culture, Sports and Tourism. 2022 Government vision list [Internet]. Ministry of Culture, Sports and Tourism; 2022 [cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://www.korea.kr/introduce/govVisionList.do>
 4. Korea Disease Control and Prevention Agency. Infectious disease surveillance [Internet]. KDCA; 2019 [updated 2021 Apr 8; cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://www.kdca.go.kr/contents.es?mid=a20301110100>
 5. Choi PM, Tscharke BJ, Donner E, et al. Wastewater-based epidemiology biomarkers: past, present and future. *Trends Analyt Chem* 2018;105:453-69.
 6. Wu F, Lee WL, Chen H, et al. Making waves: wastewater surveillance of SARS-CoV-2 in an endemic future. *Water Res* 2022;219:11853.
 7. Ahmed W, Angel N, Edson J, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: a proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Total Environ* 2020;728:138764.
 8. Kirby AE, Walters MS, Jennings WC, et al. Using wastewater surveillance data to support the COVID-19 response - United States, 2020-2021. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2021;70:1242-4.
 9. Centers for Disease Control and Prevention. COVID data tracker [Internet]. US Department of Health and Human Services, CDC; [cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker>
 10. World Health Organization. Environmental surveillance for SARS-COV-2 to complement public health surveillance: interim guidance. World Health Organization; 2022.
 11. World Health Organization. Statement on the fourteenth meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the coronavirus disease (COVID-19) pandemic. World Health Organization; 2023.
 12. Soni V, Paital S, Raizada P, et al. Surveillance of omicron variants through wastewater epidemiology: latest developments in environmental monitoring of pandemic. *Sci Total Environ* 2022;843:156724.
 13. Sellers SC, Gosnell E, Bryant D, et al. Building-level wastewater surveillance of SARS-CoV-2 is associated with transmission and variant trends in a university setting. *Environ Res* 2022;215(Pt 1):114277.
 14. National Institute for Public Health and the Environment. Coronavirus dashboard [Internet]. RIVM; [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://coronadashboard.government.nl/landelijk/rioolwater>

Establishment and Operation of National Wastewater-based Surveillance System on Infectious Diseases

Jinhwa Jang^{1,2}, Shin Young Park^{1,2}, Seong-Sun Kim^{1,2*}, Ahra Kim², You-Jung Choi², Seo Hyun Kim¹, Aeri Kang^{1,2}, Sangwon Lee³, Donghyok Kwon^{1,2*}

¹Division of Public Health Emergency Response Research, Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), Cheongju, Korea,

²Data Analysis Team, Epidemiological Investigation and Analysis Task Force, Central Disease Control Headquarters, KDCA, Cheongju, Korea, ³Director General for Public Health Emergency Preparedness, KDCA, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Because of the COVID-19 pandemic, wastewater-based surveillance has garnered extensive attention in many countries, including the United States and those in Europe, by pre-emptively monitoring and responding to infectious diseases in the community. Additionally, it is actively used in national infectious disease monitoring policies. From 2021, the Korea Disease Control and Prevention Agency conducted a pilot project to prove the effectiveness of wastewater-based surveillance system in the Republic of Korea and laid the foundation to introduce a national wastewater-based surveillance system. In 2023, KOWAS project is being conducted in cooperation with 17 cities or provinces and 18 Institute of Health and Environment Researches. Henceforth, we will expand the scope of monitoring infectious diseases by cooperating with related ministries and prepare the crisis response for a potential pandemic by upgrading experimental techniques.

Key words: Infectious disease; Infectious disease surveillance; Wastewater-based surveillance; COVID-19

*Corresponding author: Seong-Sun Kim, Tel: +82-43-719-7730, E-mail: sskim0719@korea.kr

Donghyok Kwon, Tel: +82-43-719-7950, E-mail: vethyok@korea.kr

Donghyok Kwon's current affiliation: Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju / Director for Epidemiological Investigation Analysis

Introduction

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, which began in China in December 2019, resulted in several confirmed COVID-19 cases and deaths worldwide. In the Republic of Korea (ROK), COVID-19 was designated as a first-class notifiable infectious disease from January 20, 2020, when the first confirmed case of COVID-19 was reported, to April 24, 2022. Since then, it has been designated as a second-class

notifiable infectious disease subject to comprehensive monitoring [1]. With the COVID-19 pandemic, wastewater-based surveillance, which can preemptively help in monitoring and providing response to outbreaks of infectious diseases in communities, has received attention in many countries, including the United States, Europe, and Japan, and has been actively used in national infectious disease surveillance policies [2]. The ROK is also focusing on the promotion and management of wastewater-based surveillance, including the 2-2-4

Key messages

① What is known previously?

Starting with the COVID-19 pandemic in December 2019, wastewater-based surveillance system has been rapidly evolving as a complementary public health tool and its usage is increasing overseas.

② What new information is presented?

Wastewater-based surveillance is a new public health surveillance system that can compensate for limitations such as difficulties in preemptive monitoring of asymptomatic patients, leakage of personal information, and excessive costs. The Korea Disease Control and Prevention Agency has establishment of KOrea WAstewater Surveillance (KOWAS) across 17 cities or provinces through the operation of Wastewater-based surveillance system in 2023.

③ What are implications?

For the successful establishment and efficient operation of a wastewater surveillance program, policy support including cooperation from related ministries and legal basis is needed.

[Establishment of wastewater-based infectious disease surveillance system] among the national tasks of the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) [Advancement of Infectious Disease Response System] [3]. On April 15, 2022, the KDCA introduced a wastewater-based infectious disease surveillance system and established a step-by-step expansion plan with the goal of nationwide operation to recognize the occurrence of infectious diseases in communities as one of the measures for "strengthening of the monitoring system for new variants and re-emergence" among the post-omicron response plans [1]. The goals of this system also include the establishment of a wastewater-based infectious disease monitoring system in the 3rd (2023–2027) Master Plan for Prevention and

Management of Infectious Diseases.

Accordingly, the KDCA conducted a pilot study on the effectiveness of wastewater-based infectious disease surveillance applied domestically since 2021. Based on this, in 2023, the KOrea WAstewater Surveillance (KOWAS) project is being carried out in collaboration with 17 cities or provinces and 18 Institute of Health and Environment Researches nationwide. Through this policy report, we introduce the KOWAS conducted by the KDCA and discuss the directions for future development of such surveillance systems.

Results**1. Definition of an Infectious Disease Surveillance System**

"Infectious disease surveillance" refers to the process of systematically and continuously collecting, analyzing, and interpreting data related to the occurrence of infectious diseases and the pathogens and vectors of infectious diseases and distributing the results in a timely manner for the prevention and management of infectious diseases [Infectious Disease Control and Prevention Act, Article 2, Subparagraph 16]. Surveillance systems are divided into mandatory, sentinel, and supplementary surveillance systems. In mandatory surveillance systems, all doctors, dentists, doctor of Korean medicine heads of medical institutions, unit commanders (military surgeons), and heads of infectious disease pathogen identification institutions must report as per Article 11 of the Infectious Disease Control and Prevention Act. In sentinel surveillance systems, an infectious disease specimen surveillance institution is designated as per Article 16 of the Infectious Disease Control and Prevention Act, and the system operates only after receiving a report from

the designated institution. The supplementary surveillance system supplements the infectious disease surveillance system and actively and promptly responds to infectious diseases that are not notifiable as infectious diseases but require monitoring of occurrence and trends [4]. Wastewater-based infectious disease surveillance, which was recently established in the Infectious Disease Control Project Guidelines in 2023 and supervised by the KDCA, is a new method that can complement the existing surveillance system.

2. Background of National Wastewater-based Infectious Disease Surveillance

Research on wastewater-based monitoring has been steadily conducted overseas, and it involves the screening of pathogens and health indicators by analyzing wastewater samples. The primary objectives include monitoring and surveillance of 1) illegal drugs and narcotics, 2) infectious pathogens and bacteria, 3) population markers, 4) industrial chemical exposure markers, and 5) factors such as stress, food, diet markers, or biological markers [5]. Starting with the COVID-19 pandemic in December 2019, wastewater-based surveillance technology is increasingly being used in other countries to track and manage symptomatic and asymptomatic infections as an auxiliary means to clinical surveillance, which only identifies symptomatic infected individuals [6]. In early 2020, after reporting that the genetic signal of COVID-19 increased with the number of confirmed COVID-19 cases in the inflowing wastewater of six wastewater treatment plants in the Netherlands and Australia, other countries worldwide have paid attention to wastewater-based surveillance systems [7].

The United States Department of Health and Human Services and the United States Centers for Disease Control

and Prevention formed the National Sewage Surveillance Interagency Leadership Committee (NSSIL). Through the NSSIL, member organizations support policy decisions by developing and implementing the National Wastewater Surveillance System to collect, analyze, and integrate data on COVID-19 cases [8]. By February 2023, > 1,300 sewage treatment plants across the United States have been conducting COVID-19 surveillance [9]. The World Health Organization also announced wastewater-based COVID-19 surveillance guidelines (April 2022) as part of the COVID-19 environmental monitoring policies and based on the 14th International Health Regulations meeting, which recommends “sewage monitoring” (January 30, 2023) with a declaration of COVID-19 as public health emergency (Public Health Emergency of International Concern) [10,11].

The advantages of monitoring infectious diseases using wastewater are as follows. 1) In the monitoring of patients, such as COVID-19 patients, it is possible to detect viruses excreted 6–8 days earlier than that noted in clinical samples, regardless of the presence or absence of symptoms. 2) Monitoring of patients is possible without invasion of privacy. 3) Periodic monitoring according to time and region is possible. 4) Involve more significant budget savings than clinical surveillance for prior monitoring. 5) It is possible to monitor various pathogens related to public health other than COVID-19 in wastewater samples, such as virus variants, antibiotic-resistant bacteria, and waterborne pathogens. The wastewater-based infectious disease surveillance system enables periodic monitoring within the region without invading individual privacy for early detection of new emerging infectious pathogens [12]. Therefore, establishment of a nationwide wastewater-based infectious disease surveillance system combined with

existing clinical surveillance can serve as a basis for responding to new infectious diseases through efficient surveillance of infectious diseases in communities (Figure 1).

3. Results of Pilot Project on National Wastewater-based Infectious Disease Monitoring

Wastewater-based infectious disease surveillance can be divided into community wastewater-based and building-level wastewater-based surveillance. Community wastewater-based surveillance monitors temporal trends in virus transmission through community-level wastewater monitoring based on sewage treatment plants. However, the spatial trends cannot be explained because sewage from different sources is diluted or mixed. Moreover, since building-level wastewater-based surveillance targets specific buildings, such as schools, prisons, and hospitals, it can serve as a basis for target-specific interventions (such as expansion of inspections, wearing masks, and social distancing) when potential infection hotspots are discovered [13].

Since 2021, the KDCA has conducted a pilot project to establish a wastewater dynamics-based infectious disease

monitoring system in Sejong for sewage monitoring in the community through the funding of policy research—"Study on how to introduce an infectious disease surveillance system using wastewater" (PI: Seong-Pyo Kim, Professor at Korea University). This project involved the monitoring of 32 infectious diseases in a total of 66 sewage samples collected from sewage treatment plants, educational institutions, multi-use facilities, and medical institutions in Sejong and resulted in the detection of a total of 11 pathogens, including severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2). In addition, a similar trend was observed between the infectious pathogens analyzed in sewage samples and the number of reported cases based on clinical diagnosis, confirming the potential of monitoring infectious diseases through sewage-based surveillance systems. In addition, for wastewater-based monitoring at building levels, periodic monitoring of wastewater-based SARS-CoV-2 was conducted at long-term care hospitals and nursing homes in Sejong. Based on this, a study is ongoing to explore a significant relationship between the pathogens analyzed in wastewater samples and the number of reported cases based on clinical diagnosis. Research findings have confirmed the usefulness of wastewater-based infectious disease

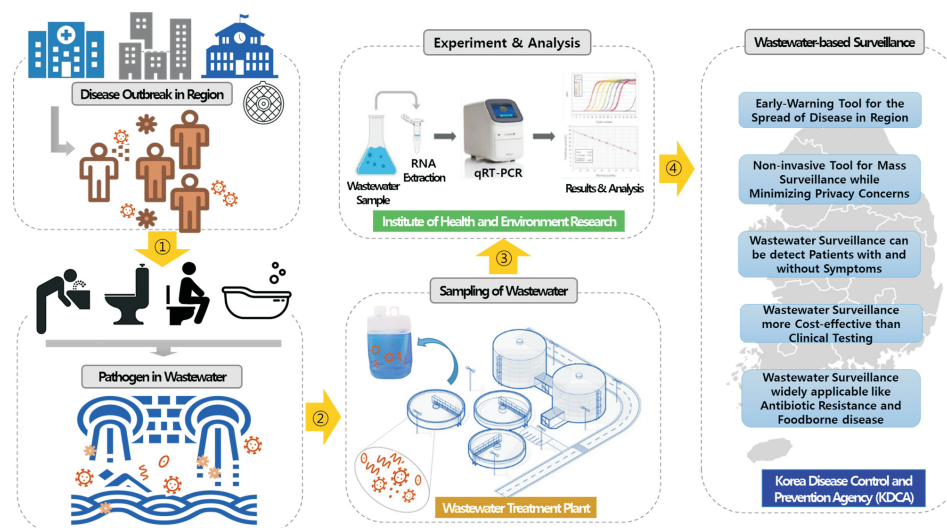


Figure 1. The Wastewater Surveillance System in the Republic of Korea

monitoring in the ROK. To establish a wastewater-based monitoring system suitable for each region and to integrate nationwide wastewater monitoring results, quality control of wastewater monitoring experimental techniques was implemented through the 2022 policy research project—"Establishment of an infectious disease surveillance system using local-based wastewater." Thus, a wastewater-based infectious disease surveillance system was introduced by 18 Institute of Health and Environment Researches in 17 cities or provinces nationwide, providing a foundation for sewage monitoring operations according to each region.

4. Operation Status of National Wastewater-based Infectious Disease Surveillance Project

The KDCA is working on "Establishment of a New

Epidemiological Surveillance System (Wastewater Surveillance)" as a government subsidy project in 2023. For smooth implementation of the nationwide KOWAS (Korea Wastewater Surveillance) project, the 2023 Infectious Disease Control Project Guidelines established by the KDCA newly included KOWAS. The goal of this project is to establish a monitoring system for the incidence and trend of major infectious diseases in wastewater in communities through regional wastewater-based infectious disease monitoring. The project also aimed to periodically monitor infectious pathogens in wastewater samples in wastewater treatment plants in different regions in the ROK, jointly with the KDCA as well as city or provincial Institute of Health and Environment Research (18 locations nationwide). The roles of each participating organization are as follows: 1) The KDCA: establishment of business plans;

Table 1. The participating institutions of KOWAS project in 2023

Institute of Health and Environment Research	Number of institution	Number of wastewater treatment plant
Overall	18	64
Seoul	1	5
Busan	1	3
Daegu	1	2
Incheon	1	5
Gwangju	1	3
Daejeon	1	2
Ulsan	1	4
Sejong	1	3
Gyeonggi	1	1
Gyeonggi Northern Office	1	1
Gangwon	1	3
Chungbuk	1	5
Chungnam	1	1
Jeonbuk	1	2
Jeonnam	1	8
Gyeongbuk	1	5
Gyeongnam	1	3
Jeju	1	8

KOWAS=Korea Wastewater Surveillance.

securing and issuing of budget; collection of monitoring results; preparation of weekly monitoring reports; provision of laboratory-related technical support and quality control; improvement in inspection methods; discovery of monitoring targets by region; and promotion of specialized projects; 2) City or Provincial Institute of Health and Environment Research: selection of wastewater treatment plants and pathogens to be monitored; analysis of pathogens in wastewater; and reporting of results; 3) Ministry of Environment: implementation of projects on wastewater samples in wastewater treatment plants (Table 1).

Pathogens that must be included in wastewater monitoring are SARS-CoV-2, norovirus, human influenza virus (A/B), and antibiotic-resistant bacteria (2nd half of 2023). Other pathogens, such as hepatitis A virus, acute respiratory virus, and intestinal bacteria, may be included depending on the situation of each local government. In addition, when a new foreign infectious disease is introduced into the ROK, it is possible to preemptively prepare the basis for surveillance of the imported infectious diseases by adding them as pathogens subject to monitoring in wastewater. There are 64 sewage treatment plants subject to monitoring in 2023, and monitoring results are reported to the KDCA at least once a week in each region (Table 2, Figure 2).

Table 2. The examine pathogens of KOWAS project in 2023

Category	Pathogens
Essential	SARS-CoV-2
	Norovirus
	Human influenza virus (A/B)
	Antibiotic-resistant bacteria (Aug. 2023-)

Pathogens to be monitored can be added (infectious diseases imported from abroad, etc.).

KOWAS=Korea Wastewater Surveillance.

5. Plan and Direction for Development of National Wastewater-based Infectious Disease Surveillance

The KDCA is conducting a wastewater-based national infectious disease surveillance project based on wastewater treatment plants in communities. This is a measure to improve the new infectious disease crisis response system, strengthen community capacity, and map out active preparation and response plans for infectious disease crises and environmental changes. Antibiotic-resistant bacteria, in addition to the three targeted pathogens (SARS-CoV-2, norovirus, and human influenza virus (A/B)), will be subjected to essential wastewater monitoring. Moreover, a wastewater sample transport system will be established to facilitate the wastewater-based infectious disease surveillance project. Based on this, a standard operating procedure will be developed for transporting wastewater samples to wastewater treatment plants, and participating organizations will be managed and supported. Similarly, in the Netherlands, local governments operate a nationwide wastewater-based

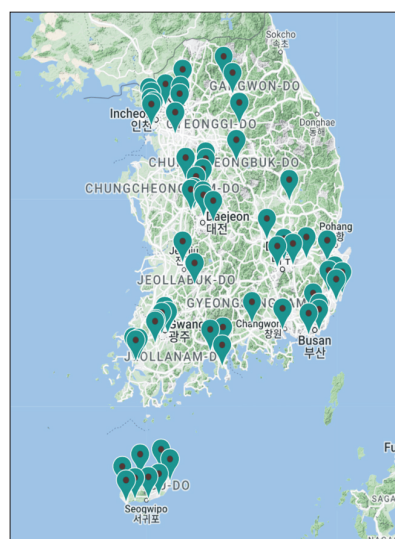


Figure 2. Wastewater treatment plants participating in KOWAS
KOWAS=Korea Wastewater Surveillance.

infectious disease surveillance network. Samples are received from approximately 300 sewage treatment facilities and analyzed for SARS-CoV-2 at least three times a week, and the results are publicly disclosed on the Dutch government's coronavirus dashboard [14]. The KDCA plans to establish a web page for visualizing geographic information by region through periodic collection and publishing of sewage monitoring results by Institute of Health and Environment Research. As a mid-to-long-term plan, wastewater-based infectious disease surveillance at airports and ports in cooperation with relevant departments and institutions for early recognition of infectious diseases imported by travelers from overseas will be promoted. In addition, some cities or provinces plan to conduct wastewater monitoring at building levels as a pilot plan for facilities with a high risk of outbreaks of infectious diseases, such as hospitals, nursing homes, schools, and correctional facilities. In addition, the target areas and pathogens will be gradually expanded for wastewater monitoring within communities. A preemptive monitoring system operation plan is being established by adding monitoring targets when a new infectious disease is introduced into the country.

As one of the limitations of sewage-based infectious disease monitoring conducted overseas, the experimental results vary depending on the characteristics of the sewage, which are influenced by contamination and dilution caused by surface water inflow. The results of the surveillance of sewage-based infectious diseases are used as an auxiliary tool for clinical diagnosis techniques. The KDCA aims to facilitate effective monitoring and comparison of sewage monitoring results by region through the introduction of concentration and extraction experiment equipment specialized in sewage sample analysis to Institute of Health and Environment Research. This is to improve analysis

efficiency, through a reduction in sewage sample processing time, and facilitate large-capacity polymerase chain reaction analysis and standardized experimental methods. The KDCA plans to continuously secure related budgets for this purpose. In addition, we will continue to develop national wastewater-based monitoring projects to monitor infectious diseases within communities and preemptively monitor infectious diseases imported from abroad through wastewater in specific group facilities (such as hospitals, nursing homes, schools, and correctional facilities), airports, and harbor, with regular cooperation with 18 Institute of Health and Environment Researches nationwide.

Conclusion

Wastewater-based infectious disease surveillance is a new infectious disease surveillance system that can compensate for various limitations of the existing clinical surveillance system, such as difficulties in preemptive monitoring of asymptomatic patients, concerns about personal information leakage, and huge budgets. This surveillance approach is actively being used as a strategy to respond to post-omicron effects worldwide, including the United States, the United Kingdom, and Japan. In the ROK, related policies are being promoted in line with this trend. The KDCA has conducted a wastewater-based infectious disease surveillance project since 2021. Through the government-subsidized project in 2023—Establishment of a New Epidemiological Surveillance System (Wastewater Surveillance), the KOWAS project for 17 cities or provinces in different provinces nationwide is being conducted in collaboration with 18 Institute of Health and Environment Researches, sewage treatment plants, and related ministries. The KOWAS

project plans to lay the foundation for surveillance to prepare for and respond to national infectious disease crises through continuous development and advancement of experimental techniques.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: Thanks to department related to the Institute of Health & Environment Research, which is participating in the KOWAS project, and Ministry of Environment and Wastewater Treatment Plants for their cooperation in collecting sewage samples.

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

Author Contributions: Conceptualization: JJ. Visualization: JJ. Writing – original draft: JJ, SYP, AK, YJC. Administrative support: SHK, AK. Writing – review & editing: SSK, SL, DK.

References

1. Korea Disease Control and Prevention Agency Press Release (April 15 2022) Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20501010000&bid=0015&list_no=719317&cg_code=&act=view&nPage=63
2. Wu F, Xiao A, Zhang J, et al. Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 across 40 U.S. states from February to June 2020. *Water Res* 2021;202:117400.
3. Ministry of Culture, Sports and Tourism. 2022 Government vision list [Internet]. Ministry of Culture, Sports and Tourism; 2022 [cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://www.korea.kr/introduce/govVisionList.do>
4. Korea Disease Control and Prevention Agency. Infectious disease surveillance [Internet]. KDCA; 2019 [updated 2021 Apr 8; cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://www.kdca.go.kr/contents.es?mid=a20301110100>
5. Choi PM, Tscharke BJ, Donner E, et al. Wastewater-based epidemiology biomarkers: past, present and future. *Trends Analyt Chem* 2018;105:453-69.
6. Wu F, Lee WL, Chen H, et al. Making waves: wastewater surveillance of SARS-CoV-2 in an endemic future. *Water Res* 2022;219:11853.
7. Ahmed W, Angel N, Edson J, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: a proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Total Environ* 2020;728:138764.
8. Kirby AE, Walters MS, Jennings WC, et al. Using wastewater surveillance data to support the COVID-19 response - United States, 2020-2021. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2021;70:1242-4.
9. Centers for Disease Control and Prevention. COVID data tracker [Internet]. US Department of Health and Human Services, CDC; [cited 2023 Feb 22]. Available from: <https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker>
10. World Health Organization. Environmental surveillance for SARS-COV-2 to complement public health surveillance: interim guidance. World Health Organization; 2022.
11. World Health Organization. Statement on the fourteenth meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the coronavirus disease (COVID-19) pandemic. World Health Organization; 2023.
12. Soni V, Paital S, Raizada P, et al. Surveillance of omicron variants through wastewater epidemiology: latest developments in environmental monitoring of pandemic. *Sci Total Environ* 2022;843:156724.
13. Sellers SC, Gosnell E, Bryant D, et al. Building-level wastewater surveillance of SARS-CoV-2 is associated with transmission and variant trends in a university setting. *Environ Res* 2022;215(Pt 1):114277.
14. National Institute for Public Health and the Environment. Coronavirus dashboard [Internet]. RIVM; [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://coronadashboard.government.nl/landelijk/rioolwater>