

국외출장 복명서

1. 출장 개요

과제명: 환경분야 민간투자사업 수요추정 쟁점연구

출장 배경 및 목적

○ 본 연구는 미국 사례 및 분석도구에 기초하여 검토를 시작하였으며, 국내와 하수도체계가 유사한 일본 방식의 검토가 보다 자세히 필요하여 국외출장 일정을 계획함.

- 일본은 강우시 침입수량(Inflow/Infiltration) 산정과 관련하여 2019년부터 전문가 검토위원회를 구성·운영해 왔으며, 2020년에는 『우천시 침입수 대책 가이드라인(안)』을 수립한 것으로 확인됨.

- 동 가이드라인에는 우천시 침입수 산정 방식이 소개되어 있으나, 실제 적용에 필요한 기준, 방법론, 수치 산정식 등은 구체성이 부족한 측면이 있어, 현지 기관 및 전문가 면담을 통해 이를 명확히 확인하고자 함. 또한 가이드라인에 명시되지 않은 사례 중, 데이터 분석 기반의 정량적 접근이나 시설계획 연계 방안을 활용한 사례가 존재하는지를 현장에서 직접 조사·확인하고자 함.

○ 아울러, 일본 내에서 운영 중인 하수처리시설을 방문하여, 강우 시 유입량(저류량) 현황, 시설 운전 방식, 유지관리 체계 등 운영 실태를 직접 확인하고자 함.

출장 일정: 2025. 8. 26(화) ~ 8. 29(금)(3박 4일)

출장 국가: 일본(도쿄)

출장자(3인)

- 공공투자관리센터 이원석 전문위원
- 공공투자관리센터 최유경 전문연구원
- 공공투자관리센터 김경우 연구원

※ 외부 연구진인 동국대학교 김극태 교수 외 1인 동행

2. 주요 일정

일자	주 요 일 정	
8.26(화)	09:00~12:00	세종→인천공항
	13:00~15:25	인천→나리타 공항
	16:00~17:30	나리타 공항→숙소(도쿄) 이동
	18:00~20:00	연구진 회의
8.27(수)	09:00~13:00	아리아케 수재생센터 시찰 및 관계자 면담
	14:00~18:00	닛스이콘 중앙연구소 방문 및 관계자 면담
8.28(목)	10:00~14:00	도쿄대학교 방문 및 관계자 면담
	15:00~18:00	시바우라 물재생센터 방문 및 관계자 면담
8.29(금)	09:00~10:30	도쿄→나리타 공항 인근
	10:30~12:00	연구진 회의
	13:20~15:50	나리타 공항→인천공항
	16:00~19:00	인천공항→세종

3. 출장결과

가. 아리아케 수재생센터

□ 방문 개요

- 기관개요: 아리아케 물재생센터는 1996년 준공된 시설용량 30,000㎥/일의 지하화 하수처리시설로 도쿄도 하수도국 소속 정부가 운영중임. 아리아케는 매립지에 조성된 신도시 지역으로 하수배제방식은 분류식임.
- 소재지: 도쿄도 고토구 아리아케, 일본
- 방문일자: 2024년 8월 27일(수) 09:00~13:00
- 면담자 : 운영담당자 3인
- 시설 위치 및 전경



□ 주요 내용

- 철저한 운영 및 친환경적 유지관리로 40년 경과된 시설임에도 불구하고 시설상태가 매우 양호함.
 - 한국은 법정 내구연한 결과되고 시설 노후도도 터서 신규(개량)시설 방향으로 사업 및 정책이 추진되는 반면, 일본은 기존시설을 내구연한 경과 이후에도 상당기간 이용 가능하도록 관리 및 운영하여 신규 자본투자를 최소화하는 정책 방향임.
- 본 시설은 도쿄도 내 16개 하수처리시설로 유일함 지하화 시설임. 일본은 지상시설에 대한 거부감 및 악취 문제가 적음.
 - A₂ O 공법, 생물막 여과 방식 등의 고도처리방식을 적용하고 있음

며, 재이용수는 유지관리용수, 인근의 건물 화장실용수, 유리카모페(전철) 차량 세척용수 등으로 사용

- 지상에 주민을 위한 체육시설(체육관, 수영장 등)을 운영하고 있으며, 하수의 흐름, 고도처리 기술, 재생수 활용 등을 시각자료와 모형, 동영상으로 설명하는 일반 시민 대상의 체험형 견학 프로그램도 운영 중임.
- (관로 개량 특허기술 소개) SPI·SPR 공법은 기존 관을 철거하지 않고 내부에 신관을 설치하는 비굴착 갱생기술임. SPI는 신관 삽입으로 100년 이상 내구성을 확보하며, SPR은 프로파일을 나선형으로 감고 몰탈로 충전해 일체화함. 일본 전역 1,400km 이상 적용되었고 도쿄 대구경관거에도 활용됨.
 - SPI 특허 물질은 관 내 미생물 부착과 황산 부식을 억제하는 항균·방오 기능을 보유함. 이를 통해 관 청결 유지, 유지관리 비용 절감, 수명 연장이 가능함. 일본 측은 장기 성능 지속을 위해 주기적 모니터링을 실시한다고 설명했으며, 한국에도 적용 가치가 높은 기술로 평가됨.
- (하수처리 관련 특성) 매립지 특성상 고도처리된 방류수로 인해 인 농도가 지나치게 낮아지는 현상이 발생함. 이는 플랑크톤 생산 제한과 해양생태계 영향으로 이어질 수 있음. 도쿄도는 수질 모니터링, 인 회수·재활용, 처리 수준 조정 등 보완책을 병행하며 대응 중임.
 - 한국의 경우 현재는 하천 위주(영양염류 과잉)의 대책에 초점을 맞추고 있는 현실과 상이하며, 향후 국내에서도 해양 수생태계 영향을 고려한 검토 가능성을 시사함.
- 도쿄도의 하수처리시설 및 하수도 역사, 우천시 관련 현안 소개
- 하수처리공정 설명 및 견학, 하수도의 역사·역할·처리 과정을 시민에게 알리기 위한 교육·홍보 시설인 무지개하수도관 체험
- 주민체육시설 및 시계탑 모양 외관의 소각장 굴뚝 등 견학

□ 방문사진



아리아케 수재생센터 하수처리과정 견학



무지개하수도관 방문 및 견학

나. 넷스이콘 중앙연구소

□ 방문 개요

- 기관개요: 상·하수도 분야에서 일본 내 최고 수준의 연구개발 및 기술 컨설팅 역량을 보유한 기관
- 소재지: 도쿄도 하치오지시 나나쿠니, 일본
- 방문일자: 2024년 8월 27일(수) 14:00~18:00
- 면담자 : 노무라 료고 소장, 나가타 히사야 하수도과 부장, 오노 토모 요시 계획관로부 과장 외 2인

□ 주요 내용

- 일본은 1960~70년대부터 불명수에 관한 관심은 높았으며, 1975년 전·후로 콘크리트관에서 플라스틱관으로 많이 변경되었으며, 접합방식도 모르타르로 변경하여 불명수 저감 노력을 함.

- 청천시 불명수인 [야간 오수유래 불명수+지하수침입수]는 야간 자료로 알 수 있으나, 두 항목간 구분은 어려움.
- 우천시 침입수량 우천침입수량과 침투침입수량으로 구분되며, 직접침입수와 강우 이후 침투에 의한 침입수 구분도 관련 연구를 진행하였으나, 실용적으로는 굉장히 어려움.
- 불명수 조사는 블록을 구분하여 유량을 조사하는 방식이 기본적이며, 예산 문제로 1~2개월 정도 조사에 그침. 유량측정 비용이 비싸서 너스 이콘사에서는 간이로 조사하는 방식(유량계가 아닌 전기전도도와 온도계로 확인)을 개발함. 간이 방식으로 발생 가능성이 높은 지역을 찾고, 점차 범위를 좁혀서 상세한 조사를 실시함.
- 일본에서 하수처리시설 용량 산정(설계) 기준은 일본 가이드라인 그대로 일최대의 20% 이내임. 일본 하수도법으로 정해져 있고, 그대로 설계해야 예산을 받을 수 있다고 설명함.
 - 단, 인구 감소로 인해 대도시에서도 계획하수량은 감소하고 있어 펌프장 등 규모 축소가 필요하지만, 실제로 도시는 불명수를 줄일 수 없는 상황이라 펌프장의 경우 일최대의 1.3배*까지 인정해줄 것을 재무성에 요구하고는 있음.
 - * 시간 최대 유량 범위까지를 인정해달라고 하는 것이며, 여러조사 결과에서 아무리 정비가 잘되어도 그 정도 수준은 발생하고 있다고 설명함.
 - 우리 연구의 SWMM, SARIMAX, 일본 회귀식의 실제 적용 가능성에 대한 조언 청취
- 실제 운영 자료를 바탕으로 선형회귀식을 통해 침입수량을 산정하는 구체적인 방법과 관련하여, 청천시 평균 오수량 적용 방식 등을 질의하였으나 산술 평균 등 주중/주말 산술 평균 등으로 예상된다고 답변함. 별도의 구체적인 적용 기준은 없는 것으로 파악됨.
- 일본 하수도는 기본적으로는 지자체가 담당하지만, 불명수는 유지관리 측면으로 지자체가 아닌 국가의 책무라고 봄. 다만, 보조금으로 다 해결할 수 없어 일반회계로도 집행하고 있음.
 - 결국 인정 범위는 10~30% 사이에서 결정되며, 문제는 경제성 측면임. 해당 범위 내에서만 국가가 보조하겠다는 의미라고 설명함.

- 불명수 조사 및 대책의 사례 소개와 관련하여, 불명수 저감 목표는 계획상 장래의 목표일 뿐 실제 의무화되거나 현실화 수준과는 다름.
- 하수처리장 자료가 있으면 통계적 접근도 가능하다고 보며, 일본도 그러한 접근을 하고 있으나 불명수 추정은 굉장히 어렵다고 알고 있음.
- 불명수에 따른 수질변동에 대해서는, 처리공정을 변경할 만큼의 의미는 없다고 사료된다고 답변함.
- 일본의 침수 대응 예산에 대해, 일본도 강우 패턴이 바뀌고 있어 국토강경화 정책으로 관련 예산은 증가하고 있음. 도시침수범람은 상용 모델이 많이 쓰이는데, 닛스이콘은 자사 모델(Blitz FLOOD)을 쓰고 있음.

□ 방문사진



닛스이콘 중앙연구소 면담

다. 도쿄대학교

□ 방문개요

- 소재지: 도쿄도 분쿄구 혼고 7가 3 1, 일본
- 방문일자: 2024년 8월 28일(목) 10:00~14:00
- 면담자 : 도쿄대 시모조노 다케노리 교수, 미나미큐슈대학 오해중 교수

□ 주요 내용

- 연구 주제 「환경 분야에서의 PPP 프로젝트 사례와 일본의 정책·우수 사례」에 관한 국제적 협력의 일환으로, 한·일 연구기관 간 의견 교환 및 정보 공유를 실시함
- 하수도 시스템 내 침입수 발생을 정확히 산정하기 위한 기법을 검토하

였음. 청천시·우천시 유입수 차이를 고려한 유량 측정, 통계 분석 활용 방안 등이 논의되었으며, 실용화 가능성과 지자체 적용성에 대한 의견도 교환되었음

- 환경 분야 PPP 사업 추진 사례를 공유하고 일본의 정책 및 우수사례를 중심으로 토론하였음. 재정 제약 속에서 민관 협력을 통한 효율적 투자 전략, 우선순위 설정, 공공·민간 간 역할 분담 등을 논의함.
- 도쿄대학교 대학원 공학계 연구과를 방문해 해양 모래 침식 및 산호초 모래를 활용한 하천 침식 시뮬레이션 장비를 견학하였으며, 구조물 설치 효과와 하천·해안 침식 대응 연구 방법을 직접 확인함.

□ 방문사진



도쿄대학교 시모조노 다케노리 교수 면담 및 견학

라. 시바우라 물재생센터(시나가와 시즌테라스)

□ 방문개요

- 기관개요: 1931년 3월에 가동을 시작한, 도쿄에서 세 번째로 오래된 물재생센터로 시설용량 830,000m³/일의 도심에 위치한 하수처

리시설임. 처리구역 대부분 하수배제방식은 합류식임. 시나가와 시즌테라스 지하에는 67,000m³/일의 우천시 저류지가 있으며, 지상은 32층의 상업시설로 운영 중임.

- 소재지: 도쿄도 미나토구 고난, 일본
- 방문일자: 2024년 8월 28일(목) 15:00~18:00
- 시설 위치 및 전경

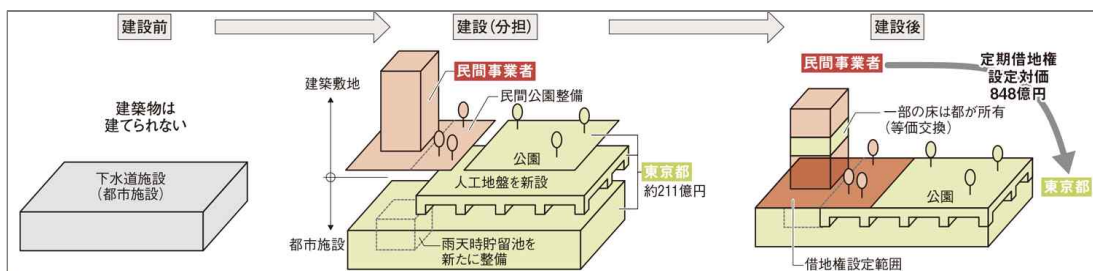


□ 주요 내용

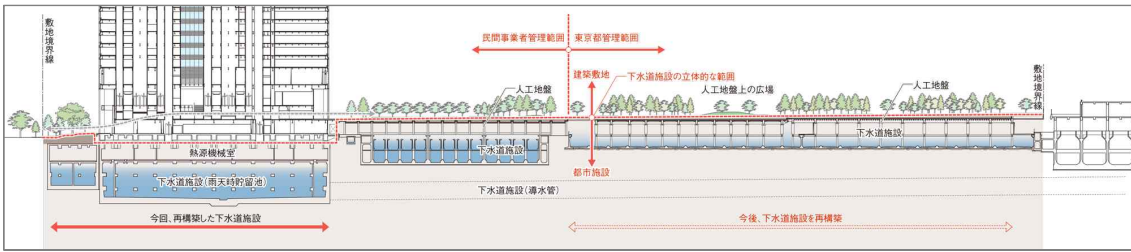
- 강우시 일시적으로 하수량이 급증하면, 시바우라 수재생센터로 유입되는 유량을 조절하기 위해 대규모 우수지(저류지)를 이용함. 일정 용량 이상을 저장하고, 이후 빗물이 잦아들면 다시 처리 공정으로 보냄.
- 초기 우수에는 도로 오염물질 등이 많이 섞여 있어, 이를 분리하여 우천시 저류조에 일시적으로 저장하거나, 간이공공처리시설에서 침전·여과 과정을 거침.
- CSO나 우수 유입으로 인해 임시 방류가 불가피할 때도 있으나, 가능한 한 유량을 저장하여 서서히 처리하는 방식으로 수질 악화를 최소화하고 있음.
- 2010년 세라믹 멤브레인과 오존 처리를 결합한 고도처리 기술을 일부 라인에 적용하여 미세 입자와 난분해성 물질을 효과적으로 제거하여 재이용수를 공급하고 있음.
- 2015년 32층 높이의 초고층 오피스 상업빌딩인 '시나가와 시즌테라스'

를 건설하였고, 재생수를 화장실 용수로 공급 중임. 또한 시즌 테라스 및 연결한 공원 하부에는 67,000㎡/일의 우천시 저류지가 있음.

- 시나가와 시즌 테라스는 민간사업자 4개사(NTT 도시개발, 다이세이 건설, 휴릭, 도쿄 도시개발)와 도쿄도에 의한 입체도시계획을 활용한 관민 연계의 대규모 개발사업으로 추진됨.
- 1층부터 3층까지는 상업 공간으로 음식점을 중심으로 약 20개 점포가 입점. 5층 이상은 사무실 공간으로 일본 유명 기업들이 많이 입주해 있다고 함.
- 하수시설로는 최초의 입체도시계획제도 적용으로 부지 전체에 인공지반을 구축함으로써 공간을 지표면에서 상하로 이분하고, 지하의 공간만을 도시시설로 사용하고 있음.
- 도쿄도가 부담한 공사비는 부지 남쪽에 우천시 저류지를 신설하는 비용 133억엔과 기존 하수도 시설 위에 신설한 인공지반과 공원 정비 비용 78억엔의 총 211억엔으로 설명. 민간사업자에 대한 정기차지권 설정권 대가는 30년 계약으로 낙찰가 848억엔임.(일부는 등가교환에 의해 도쿄도가 빌딩의 바닥을 구분 소유하는 형태를 취하고 나머지는 차지료로서 연간 할부로 지불됨. 빌딩 지상부 건설비는 전액을 민간사업주가 부담함.)



- 아래 그림에서 붉은 파선으로 나타내는 면 아래가 도시 시설로, 도쿄도가 관리함. 신설한 공원은 남쪽을 민간 사업자가, 북쪽을 도쿄도의 위탁에 의해 미나토구가 관리함.



□ 방문사진



시바우라 물재생센터 저류지 상부에 운영 중인 상업시설