

2024/25 KSP-EBRD 공동컨설팅보고서

키르기스공화국 스마트물관리시스템 로드맵 수립



정 부 간 행 물 번 호

11-1051000-100094-01

Knowledge
Sharing
Program



2024/25 KSP-EBRD 공동컨설팅보고서

키르기스공화국 스마트물관리시스템 로드맵 수립



기획재정부



한국수출입은행
THE EXPORT-IMPORT BANK OF KOREA



WI.Plat



KSWW
Korean Society of Water & Wastewater

2024/25 KSP-EBRD 공동건설링보고서

사업명	키르기즈공화국 스마트물관리시스템 로드맵 수립
협력국	키르기즈공화국
현지 협력기관	Bishkekvodocanal

사업 주관	대한민국 기획재정부
사업 총괄기관	한국수출입은행
사업 수행기관	(주)위플렛 컨소시움 (주)위플렛

사업 관리	대한상하수도학회 한국수출입은행 유광훈 MDB 사업부장 한종수 KSP 팀장 최유지 KSP팀 심사역 서혜윤 KSP팀 연구원
-------	---

연구책임자 차상훈(책임연구원, (주)위플렛)

연구진

김경성(연구원, (주)위플렛)
방준세(연구원, (주)위플렛)
김창주(연구원, (주)위플렛)
심재형(연구원, (주)위플렛)
안병목(연구원, (주)위플렛)
김지선(연구원, (주)위플렛)
이돈섭(연구원, (주)위플렛)
정승환(보조연구원, (주)위플렛)
김건하(연구원, 대한상하수도학회)
박임수(연구원, 대한상하수도학회)
강병준(연구원, 대한상하수도학회)
왕영걸(보조연구원, 대한상하수도학회)

2024/25 KSP-EBRD 공동컨설팅보고서
키르기스공화국 스마트물관리시스템 로드맵 수립

목차

약어	014
요약	017

제1장 서론

1. 연구 배경 및 목적	023
2. 연구 범위 및 방법론	043

제2장 키르기즈공화국 상수도 관리 현황 평가

1. 키르기즈공화국 물관리 현황	049
2. 비슈케크시 도시 상수도 관리 현황 평가	057
3. 오쉬시 도시 상수도 관리 현황 평가	071

제3장 한국의 스마트 물관리(SWM) 경험 및 시사점

1. 한국의 스마트 물관리 도입 역사 및 발전 과정	077
2. 한국의 스마트 물관리 도입 사례 분석	081
3. 한국의 스마트 물관리 도입 시 직면했던 문제점	084
4. 키르기즈공화국에 적용 가능한 한국 사례 및 시사점	091

제4장 키르기즈공화국 스마트 물관리 도입을 위한 로드맵

1. 스마트 물관리 도입 비전 및 목표	099
2. 이슈 분석을 통한 개선 과제 도출	100
3. SWOT 분석을 통한 전략 방향 설정	105
4. 단계별 추진 전략(단기, 중기, 장기)	106
5. 주요 이해관계자 분석 및 협력 방안	108
6. 스마트 물관리 도입 시 주요 고려사항	111

제5장

스마트 물관리 도입을 위한 기술·인프라 구축전략

1. 원격 감시제어시스템 구축115
2. 상수도 관리를 위한 스마트 의사결정 시스템 도입121
3. 스마트 물관리 현대화139

제6장

정책 및 제도 개선 방안

1. 스마트 물관리 도입을 위한 법·제도 개선149
2. 공공·민간 협력(PPP) 및 투자 유치 방안152

제7장

한국-키르기스공화국 협력을 통한 지식 공유 및 역량 강화

1. 연구 결과 공유 및 이해관계자 협력 방안171
2. 정책 실무자 대상 한국 연수 프로그램173

제8장

경제적 효과 및 자원 조달 전략

1. 키르기스공화국 스마트 물관리 시스템 도입 경제적 효과 분석183
2. 사업 추진을 위한 자원 조달 및 투자 유치 방안188

제9장

실행 계획 및 성과 관리 체계

1. 로드맵 실행 일정 및 단계별 계획193
2. 도시별 차별화 포인트197
3. 성과 측정 지표 및 모니터링 방안199
4. 리스크 관리 방안200

제10장

정책 제언

1. 기술 도입 로드맵 및 정책 방향203

목차

2. 중앙정부와 지방정부의 역할 정립	205
3. 공공-민간 협력 모델 구축	206

제11장

결론

1. 키르기스공화국의 물관리 개선의 필요성	209
2. 스마트 물관리 도입 기대 효과	210
3. 지하수 활용에 따른 문제점 및 개선 방안	211
참고문헌	214

표목차

제1장

〈표 1-1〉	이해관계자 분석 요약표	047
---------	--------------	-----

제2장

〈표 2-1〉	키르기스공화국의 물관리 주요 법률	053
〈표 2-2〉	행정 조직 구조	054
〈표 2-3〉	전략적 권고 사항	056
〈표 2-4〉	문제점 및 개선 방안	058
〈표 2-5〉	최근 3년 비슈케크시 물 생산량 대비 소비량(자료: BVK 내부 자료)	060
〈표 2-6〉	Bishkek City의 수도요금(2023년 기준)	065
〈표 2-7〉	Bishkek City의 수도시설 디지털 전환을 위한 주요 기술	068

제3장

〈표 3-1〉	광역상수도 스마트 관리 체계 구축 사업 개요	079
〈표 3-2〉	지역상수도 스마트 관리 체계 구축 사업 개요	080
〈표 3-3〉	지방 상수도 현대화 사업의 주요 내용과 누수저감 효과 사례	082
〈표 3-4〉	정책적 방향	095

제4장

〈표 4-1〉	비슈케크시 스마트 물관리 도입 비전 및 목표	099
〈표 4-2〉	SWOT 결과 요약표	105
〈표 4-3〉	성과보장형 SWM 시범사업	106
〈표 4-4〉	스마트 인프라 확대 및 최적화 추진 전략	106
〈표 4-5〉	전면적인 디지털 및 자립적 운영 추진 전략	107
〈표 4-6〉	정부의 역할	108
〈표 4-7〉	지방정부 및 공공기관 역할	109
〈표 4-8〉	공공-민간 협력 방안	109
〈표 4-9〉	시민 및 지역사회 참여 방안	110
〈표 4-10〉	이해관계자별 주요 역할 요약	110
〈표 4-11〉	재원 조달 방안	111
〈표 4-12〉	법·제도 개편 필요성	112

표목차

<표 4-13> 데이터 및 기반 구축 방안.....112

제5장

<표 5-1> 스마트 물관리 제어 시스템의 아키텍처에서 핵심 구성요소와 기능.....116

<표 5-2> 원격 감시제어시스템 주요 기능116

<표 5-3> 원격 감시제어시스템 구축 절차117

<표 5-4> 영상 감시 시스템 구성117

<표 5-5> 영상 감시 시스템 구축 범위.....118

<표 5-6> 영상 감시 시스템 기능 및 통합.....118

<표 5-7> 영상 감시 시스템 기대효과.....119

<표 5-8> 급수망 통합 제어시스템 구조119

<표 5-9> 급수망 통합 제어시스템 주요 기능.....120

<표 5-10> 급수망 통합 제어시스템 구축 방안.....120

<표 5-11> 급수망 통합 제어시스템 기대방안120

<표 5-12> TM/TC 시스템과 연계된 스마트 의사결정을 위한 주요 지표 예시121

<표 5-13> 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 핵심 기능122

<표 5-14> 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 구성.....122

<표 5-15> 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 구축 방안.....123

<표 5-16> 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 주요 기능.....124

<표 5-17> 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 구성124

<표 5-18> 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 구축 방안.....124

<표 5-19> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 주요 기능125

<표 5-20> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구성.....126

<표 5-21> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구축 방안126

<표 5-22> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 기대방안127

<표 5-23> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구조127

<표 5-24> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구축 방안128

<표 5-25> 인공지능 기반 이상 감지 시스템 기대방안128

<표 5-26> DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 주요 기능130

<표 5-27> DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 구성.....130

<표 5-28> DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 구축 절차.....131

〈표 5-29〉	DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 기대효과	131
〈표 5-30〉	스마트 요금관리 시스템 주요 기능	132
〈표 5-31〉	스마트 요금관리 시스템 구성	133
〈표 5-32〉	스마트 요금관리 시스템 구축 절차	133
〈표 5-33〉	스마트 요금관리 시스템 기대효과	133
〈표 5-34〉	스마트 누수 관리 시스템 주요기능	134
〈표 5-35〉	스마트 누수 관리 시스템 구조	135
〈표 5-36〉	스마트 누수 관리 시스템 구축절차	135
〈표 5-37〉	스마트 누수 관리 시스템 기대효과	135
〈표 5-38〉	GIS 기반 자산 관리 시스템 주요기능	136
〈표 5-39〉	GIS 기반 자산 관리 시스템 구조	137
〈표 5-40〉	GIS 기반 자산 관리 시스템 구축절차	137
〈표 5-41〉	GIS 기반 자산 관리 시스템 기대효과	137
〈표 5-42〉	스마트 약품주입 설비 주요기능	139
〈표 5-43〉	스마트 약품주입 설비 구축절차	140
〈표 5-44〉	스마트 약품주입 설비 기대효과	140
〈표 5-45〉	스마트 약품주입 설비 적용 사례	141
〈표 5-46〉	스마트 슬러지 수집 설비 주요기능	142
〈표 5-47〉	스마트 슬러지 수집 설비 구축절차	142
〈표 5-48〉	스마트 슬러지 수집 설비 기대효과	143
〈표 5-49〉	스마트 슬러지 관리 적용 사례	144
〈표 5-50〉	스마트 소독설비 주요기능	145
〈표 5-51〉	스마트 소독설비 구축절차	145
〈표 5-52〉	스마트 소독설비 기대효과	146
〈표 5-53〉	스마트 소독 시스템 적용 사례	146

제6장

〈표 6-1〉	주요 재정 인센티브 유형 및 내용	155
〈표 6-2〉	PPP 프로젝트에서 발생할 수 있는 주요 위험	156
〈표 6-3〉	효과적인 위험 분담의 원칙	156
〈표 6-4〉	금융 및 계약 구조를 통한 위험 완화 방안	156

표목차

〈표 6-5〉	주요 국제기구/개발은행 물산업 금융 지원 특징 비교	159
〈표 6-6〉	스마트 물관리 사업의 비용절감 효과	162
〈표 6-7〉	스마트 물관리 사업의 환경적 편익	163
〈표 6-8〉	CBA 지표	163
〈표 6-9〉	스마트 물관리 기술별 경제적 효과 및 분석 지표	165
〈표 6-10〉	스마트 물관리에 따른 사회적 영향	165
〈표 6-11〉	스마트 물관리에 따른 환경적 영향	166

제7장

〈표 7-1〉	연수 프로그램 내용	173
---------	------------	-----

제8장

〈표 8-1〉	분석 기준 및 조건	184
〈표 8-2〉	총 투자 및 편익	185

제9장

〈표 9-1〉	1단계: 시범 사업 추진(로드맵 기준 1~3년)	194
〈표 9-2〉	2단계: 사업 확대 및 제도 정비(로드맵 기준 4~8년)	195
〈표 9-3〉	3단계: 전국 확산 및 지속가능성 확보(로드맵 기준 9~15년)	197
〈표 9-4〉	SWMS 성과 측정을 위한 KPI	199

그림목차

제1장

[그림 1-1]	오쉬(Osh) 제5펌프장에 설치된 WB 및 ARIS 지원 사업 정보 게시판	032
[그림 1-2]	SWM의 개요	034
[그림 1-3]	기반 시설 유지 관리 및 관로 기술	035
[그림 1-4]	자동화 및 SCADA 기반 제어 기술	037
[그림 1-5]	IoT·스마트 계량 및 자산관리 기술	038
[그림 1-6]	AI 기반 스마트 물관리 기술	039

제2장

[그림 2-1]	Bishkek City의 수도시설	059
[그림 2-2]	Bishkek City의 수도물 공급 시스템	060
[그림 2-3]	키르기즈공화국 수용가 수도미터	061
[그림 2-4]	Bishkek City의 상수도시설 유지관리	061
[그림 2-5]	키르기즈공화국 상수도 설비 현황	062
[그림 2-6]	Bishkek City의 에너지 관리 현황	063
[그림 2-7]	비슈케크시의 상수도 민원	064
[그림 2-8]	BVK의 직원 조직도 및 공지 게시판	064
[그림 2-9]	비슈케크시의 상수도 시설 운영관리 시스템	066
[그림 2-10]	오쉬시의 정수관련 시설물	072
[그림 2-11]	정수장내 수질관리 연구소내	073
[그림 2-12]	정수장내 수질관리 현황	073

제5장

[그림 5-1]	원격 감시제어시스템	115
[그림 5-2]	디지털 유량 및 설치 전경	129
[그림 5-3]	스마트 수도미터	129

제7장

[그림 7-1]	대표단 입국 및 환영 인사	174
[그림 7-2]	초청연수 오리엔테이션	174
[그림 7-3]	한국수자원공사 본사 견학	175

그림목차

[그림 7-4] 중간보고회 진행	175
[그림 7-5] 상수도 전문가 강의	176
[그림 7-6] 대구물산업클러스터 견학	177
[그림 7-7] 구미 정수장(EMS 기반 디지털 정수장)	177
[그림 7-8] 대청댐 방문	178
[그림 7-9] 기업 방문	178
[그림 7-10] 수지 레스피아(용인 하수처리장) 방문	179
[그림 7-11] 서울 문화 체험	179
[그림 7-12] 경복궁 앞 단체사진	180
[그림 7-13] 국립중앙박물관 방문	180

제9장

[그림 9-1] 성과 평가 체계	200
-------------------	-----

약어

약어	정식명칭	한글명칭
ADB	Asian Development Bank	아시아 개발 은행
AMI	Advanced Metering Infrastructure	원격 검침 인프라
BVK	Bishkekvodokanal	비슈케크 수도공사
CCTV	Closed-Circuit Television	폐쇄 회로 TV
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development	유럽부흥개발은행
GCAP	Green City Action Plan	도시의 지속가능한 발전 계획
GCF	Green Climate Fund	녹색 기후 기금
GIS	Geographic Information System	지리정보시스템
HMI	Human-Machine Interface	인간-기계 인터페이스
IWRM	Integrated Water Resources Management	통합물관리
KOICA	Korea International Cooperation Agency	한국국제협력단
KOTRA	Korea Trade-Investment Promotion Agency	대한무역투자진흥공사
LPCD	Liter Per Capita Day	1인당 하루 평균 물 사용량
LPWAN	Long-Range Low Power Wide Area Network	장거리 저전력 광역 네트워크
NRW	Non-Revenue Water	무수수량
ODA	Official Development Assistance	성과 기반 계약
OSHG	On-site Sodium Hypochlorite Generation	현장 소독제 생성
PBC	Performance-Based Contract	성장보장형 계약
PLC	Programmable Logic Controller	프로그램머블 로직 컨트롤러
PPP	Public-Private Partnership	민관협력
RTU	Remote Terminal Unit	원격 단말 장치
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	감독 제어 및 데이터 수집

약어	정식명칭	한글명칭
SWC	Smart Water City	스마트 물관리 도시
SWG	Smart Water Grid	스마트 워터 그리드
SWMS	Smart Water Management System	스마트물관리시스템
UWMS	Urban Water Management System	도시물관리시스템
VSD	Variable-Speed Drive	가변 제어
WB	World Bank	세계은행

요약

1. 연구 배경과 목적
2. 주요 문제 진단
3. 제도적·행정적 여건 분석
4. 스마트물관리 도입 필요성과 기대 효과
5. 도입 전략 및 실행 방안
6. 경제적 효과 및 자원 조달 전략
7. 결론 및 정책적 시사점

1. 연구 배경과 목적

- 키르기스공화국은 풍부한 수자원을 보유하고 있음에도 불구하고, 물관리 체계의 비효율성, 기후변화로 인한 수문주기 불안정, 그리고 노후화된 인프라로 인해 물의 지속가능한 이용이 어려운 상황이다. 특히 수도 비슈케크시와 제2의 도시 오쉬(Osh)시는 도시 성장과 수요 증가에 비해 상수도 인프라의 확장 속도가 느리고, 디지털화 수준이 매우 낮아 서비스 품질과 안정성이 위협받고 있다. 이에 따라 본 연구는 한국의 스마트 물관리 사례를 참고하여 키르기스공화국에 적합한 스마트 물관리 전략을 수립하고, 실행 가능한 도입 로드맵을 제시하는 데 목적이 있다.

2. 주요 문제 진단

가. 비슈케크시 현황

- 비슈케크시는 100% 지하수에 의존하는 단일 수원 구조로 운영되고 있으며, 정수처리는 염소 소독만으로 이루어진다. 정수장과 배수지 대부분은 수동운전 방식이며, 자동화 수준이 매우 낮다. 수도물 생산은 334개의 지하수 관정과 23개 정수장에서 이루어지며, 그 중 절반 이상은 펌프를 이용한 가압 공급 방식으로 에너지 소비가 많다. 또한 수도미터 보급률이 낮아 요금체계가 정액제로 운영되고 있고, 이로 인해 무수수량(NRW) 관리가 거의 불가능하다. 도시 확장에 따라 신규 행정구역이 상수도 관리 범위에 추가되었으나, 이들 지역의 수질 및 위생 관리는 매우 미흡한 상태이다.

나. 오쉬(Osh)시 현황

- 오쉬(Osh)시는 주로 Papan 저수지를 수원으로 활용하며, 상대적으로 풍부한 수량을 보유하고 있다. 하지만 강우 시 고탁도 유입으로 인해 정수처리 효율이 저하되고, 수도물

공급이 중단되는 사례가 빈번하다. 정수장의 여과설비는 노후화되어 있으며, 일부 지역은 미세여과 및 응집·침전 강화를 위한 보조 처리 공정 도입이 필요하다. 수도미터 보급률은 15%에 불과하고, SCADA 기반 원격 제어 체계가 부재하여 에너지 소비가 높은 구조다. 펌프장의 전력 소비는 월 200만 kWh 이상으로, 에너지 효율 개선의 여지가 크다.

3. 제도적·행정적 여건 분석

- 키르기스공화국은 「국가 물 전략 2040」을 수립하여 물 자원의 합리적 사용, 오염 방지, 인프라 현대화 등을 목표로 하고 있다. 물 관련 주요 법률로는 「수자원법」, 「물에 관한 법」, 「식수 및 위생법」 등이 있으며, IWRM 원칙이 제도적으로 채택되었으나 실질적 실행은 미흡하다. 행정적으로는 농업부와 수자원청이 수자원 정책을 총괄하나, 유역 기반 관리가 형식적으로만 운영되고 있으며, 중앙정부 주도의 집권적 구조가 개선 과제로 지적된다(National Sustainable Development Strategy 2018-2040).

4. 스마트 물관리 도입 필요성과 기대 효과

- 스마트 물관리는 정수·공급·운영 전 과정에 ICT와 자동화 기술을 접목하여 수질 안정성, 에너지 효율성, 운영 신뢰성을 향상시키는 체계다. 특히, 비슈케크시와 같이 수원 구조가 단순하고 에너지 소비가 높은 도시에는 SCADA 기반의 실시간 운영체계, 펌프 제어 자동화, 누수 탐지 시스템, 스마트 수도미터 및 AMI 시스템 등이 필수적으로 도입되어야 한다.
- 도입 효과는 첫째, 무수수량(NRW) 감축을 통한 요금 수입 안정화 및 재정 건전성 회복, 둘째, 지하수 오염 및 과잉 취수에 대한 실시간 모니터링과 조기 경보로 수자원 보전, 셋째, 에너지 효율 최적화로 전력 소비를 최대 25%까지 절감 가능, 넷째, 시민 신뢰 제고 및 위기 대응력 향상을 통한 공공서비스의 품질 개선 효과가 예상된다.

5. 도입 전략 및 실행 방안

- 스마트 물관리 도입은 기술적 통합과 행정적 체계 정비를 병행해야 하며, 다음과 같은 전략이 필요하다.
 - 우선순위 설정: 무수수량(NRW) 비율과 인프라 노후도가 높은 지역부터 단계적으로 추진
 - 통합 플랫폼 구축: SCADA, IoT, GIS, AMI를 하나의 시스템으로 연계

- 기술 표준화: 장비 사양, 통신 프로토콜, 소프트웨어 인터페이스에 대한 국가 단위 기준 마련
- 민간 협력과 인력 양성: 민간 기술기업과의 협력 확대 및 운영자 교육, 매뉴얼 구축
- 시범 사업 후 확대: 누수 감지, 펌프 최적운전 등 효과가 즉시 나타나는 분야부터 적용 후 확산
- 성능 모니터링: 성능지표 설정, 클라우드 기반 분석 플랫폼 활용을 통한 지속적 관리

6. 경제적 효과 및 재원 조달 전략

- 스마트 물관리 시스템의 도입은 키르기스공화국의 물관리 부문에서 구조적 문제를 해결할 뿐만 아니라, 다양한 경제적 효과를 창출할 수 있는 잠재력을 갖고 있다.
 - 첫째, 무수수량(NRW) 감소를 통한 재정 안정성 확보가 가능하다. 비슈케크시와 오쉬(Osh)시의 경우 수도미터 보급률이 각각 25%, 15% 수준으로 매우 낮아 누수와 무단 사용으로 인한 손실이 크며, 요금 수입의 확보가 어렵다. 스마트 수도미터와 AMI를 도입하면 정확한 요금 부과가 가능해지고, 수익이 증가하며, 이로 인해 수도사업자의 재정 자립도를 높일 수 있다.
 - 둘째, 운영 비용 절감 효과가 기대된다. 현재 두 도시 모두 전력 소비가 높은 펌프 기반 공급 시스템에 의존하고 있으며, SCADA 및 자동제어 시스템이 도입되지 않아 인력 의존도 또한 높다. 스마트 운영 시스템 도입 시, 에너지 절감과 인건비 감소를 통해 연간 수천만 KGS 수준의 예산 절감이 가능할 것으로 예상된다.
 - 셋째, 장기적 투자 비용의 절감이 가능하다. 스마트 기술을 활용해 관망 상태를 실시간으로 모니터링하고 유지보수 시점을 예측함으로써, 사고 발생 후 복구 방식이 아닌 선제적 관리가 가능해지고, 이를 통해 장기적 인프라 유지관리 비용을 절감할 수 있다.
- 재원 조달 전략은 단기적·중장기적 단계로 구분하여 추진될 수 있다. 단기적으로는 국제개발협력(ODA) 자금을 활용한 시범사업을 우선 도입하고, 이후 해당 성과를 바탕으로 국제개발은행(예: EBRD, ADB 등)의 차관 또는 PPP 방식의 민간투자를 유치하는 방식이 있다. 특히 스마트 수도미터 도입 사업은 민간투자 유치를 위한 대표적 PPP 모델로 평가되며, 사용요금 기반 수익 회수 방식이 가능하다는 점에서 투자 안정성이 높다.

- 또한, AMI 등 디지털 인프라 구축에는 초기 투자비가 크기 때문에 정부의 보조금과 국제기구의 기술지원 프로그램을 연계한 혼합금융(Mixed Finance) 모델이 필요하다. 나아가 수도요금 현실화 정책과 연계하여 점진적인 요금 인상 및 사회적 수용성 확보 전략도 병행되어야 한다.

- 스마트 물관리 도입은 기술적 혁신을 넘어 도시 재정 건전성과 지속가능성을 강화하는 경제적 기반으로 작용하며, 국제협력과 민간 참여를 병행한 다각적인 자원 조달 전략이 필요하다.

7. 결론 및 정책적 시사점

- 키르기스공화국은 자국 내 수자원은 풍부하나, 관리 체계와 인프라의 비효율성으로 인해 실질적인 수자원 가치가 저하되고 있다. 스마트 물관리는 단순한 기술 이전이 아닌 도시계획과 연계된 전략적 접근이 요구되며, 디지털 전환은 지속가능한 물관리를 위한 필수 과제로 부상하고 있다. 이를 통해 기후변화, 에너지 문제, 재정 불안정, 시민 불신 등 복합적 문제를 동시에 해결할 수 있는 통합 솔루션으로 자리잡을 수 있다.

제1장

서론

1. 연구 배경 및 목적
2. 연구 범위 및 방법론

1. 연구 배경 및 목적

가. 키르기스공화국 물관리 현황

1) 수자원 지속가능성 위협

- 기온 상승과 강우 패턴의 불규칙성 등의 기후변화는 지하수 함양 주기를 방해하고, 전반적인 가뭄 위협을 증가시키고 있어 수자원 지속가능성에 큰 위협이 되고 있다.
 - 특히 엘니뇨와 라니냐와 같은 계절성 기후 현상은 강수량 감소를 초래하여 농업과 도시 용수 모두에 영향을 미치고 있으며, 기후 회복력이 있는 물관리 체계로의 전환이 시급한 상황이다.

2) 행정 시스템의 복잡성

- 물 자원 관리에 다수의 기관이 관여하는 복잡한 행정 구조로 운영되고 있어, 명확한 역할 분담과 협력체계 구축이 절실히 요구된다.
 - 농업부, 국가수자원청, 지역정부 등 다양한 기관이 물 관리에 관여하고 있으나, 역할의 중복과 책임의 불명확성, 기관 간 조정 부족 등으로 인해 통합물관리(IWRM) 기반의 수자원 관리 전략 실행이 지연되고 있다.

3) 수원의 다양성 부족

- 키르기스공화국은 지하수 의존성이 높으며, 중장기적 수요 증가나 가뭄에 대비할 수 있는 댐이나 저수지 등의 수원이 다양하지 않다.

- 또한, 일부 지역에서는 배수지를 통해 자연유하 방식으로 급수하고 있으나, 전체적으로는 펌프 가압 방식이 많아 에너지 의존도가 높다.

4) 물 이용 요금체계 비효율성

- 아파트를 제외한 대부분의 주택은 수도미터가 설치되어 있지 않아 정액제로 요금이 부과되고 있으며, 이는 물 낭비를 유도하고 사용량 추적 및 무수수량(NRW) 관리에도 장애가 된다. 따라서 모든 가정에 수도미터를 설치하고, 사용량 기반 요금체계로의 전환이 필요하다.

5) 국가 물 전략

- 키르기스공화국은 「국가 지속가능발전전략 2040」 및 「국가 물 자원 관리 전략 2025」를 통해 물관리 부문을 국가 경제·환경 정책의 핵심 분야로 규정하고 있다. 주요 목표는 ▲안전한 식수 접근성 확대, ▲노후 상수·하수 인프라 재건, ▲무수수량(NRW) 저감, ▲수질 관리 강화, ▲상수도 보급 및 위생 시스템 개발 계획(Program for the Development of Drinking Water Supply and Sanitation until 2026) 등이 있다.

- 특히, 2025년까지의 국가 물 자원 관리 전략에는 다음과 같은 구체적인 과제가 포함되어 있다.

- 상수도·하수도 보급률 확대(도시지역 100%, 농촌지역 95% 목표)
- 관망 누수율 감축(현 수준 대비 15~20% 절감 목표)
- 수질 모니터링 체계 확립 및 국가 데이터베이스 구축
- 기후변화 대응을 위한 통합물관리(IWRM) 기반 마련

- 국가 물 전략에서는 ICT 기반의 운영 효율화와 실시간 모니터링 체계 도입을 핵심 수단 중 하나로 제시하고 있으며, 이는 본 과업에서 제안하는 스마트 물관리 로드맵과 직접적으로 부합한다.

- 관망 누수 저감 목표 달성을 위해 DMA 구축, IoT 압력·유량계 설치, AI 기반 누수 탐지 분석을 도입함으로써 NRW 절감에 직접 기여한다. 또한, 스마트 센서와 SCADA를 연계한 통합 모니터링 플랫폼 구축은 국가 수질 관리 전략과 부합하며, GIS·클라우드 기반 데이터 통합 플랫폼 설계를 통해 국가 데이터베이스 구축 과제와 연동된다. 아울러, 실시간 데이터 분석과 예측 알고리즘 적용은 가뭄·홍수 등 기후변화에 따른 물 관리 리스크 대응 역량을 강화하여 국가의 통합물관리(IWRM) 기반 마련에도 이바지한다.

나. 비슈케크시(Bishkek City) 상수도 현황

1) 개요

가) 지형 및 기후 특성

- 비슈케크시는 티엔산(Tien Shan) 산맥 북쪽 기슭, 해발 약 800~900m 고도에 위치해 있으며, 여름에는 기온이 35도 이상으로 치솟고 겨울은 -20도 이하로 내려가는 등 기후변화에 민감한 냉대 습윤 기후(Dfb) 특성을 가지고 있다.
- 연간 강수량은 평균 400mm 내외이며, 봄과 가을에 집중되며, 이러한 한정된 강수 환경은 지표수의 재충전을 어렵게 하며, 특히 도시 기반의 식수 자원에 큰 부담을 주고 있다.

나) 도시 성장과 기반시설

- 키르기스공화국의 수도이자 경제·행정·문화의 중심지로, 중앙아시아의 전략적 요충지에 위치해 있다. 인구는 도시 자체 기준으로 약 100만 명, 수도권 외곽 포함 시 150만 명 이상으로 추산된다.
 - 최근 수년 간 이주민 유입, 도시 인구 자연 증가, 농촌에서 도시로의 이주 가속화로 인해 인구 밀도는 꾸준히 상승하고 있으며, 이에 따라 도시 서비스 수요도 빠르게 증가하고 있다.
- 도시계획 측면에서, 비슈케크시는 2030 도시개발 마스터플랜 및 스마트시티 전략을 수립하여 도시 인프라, 디지털 행정, 교통체계 개선을 추진하고 있다. 하지만 이러한 도시의 성장 속도는 상수도·하수도 등 물 관련 기반시설의 확장과 현대화를 크게 앞지르고 있어, 물 공급 안정성과 자원 관리 효율성에 심각한 영향을 주고 있다.
 - 특히 기후 회복력이 부족한 수자원 구조는 향후 도시 지속가능성을 위협할 수 있는 요소로 평가되고 있다.

2) 물관리 현황

가) 지하수 기반 단일 수원

- 비슈케크시의 상수도는 100% 지하수에 의존하고 있으며, 도시 전체가 하나의 취약한 수자원 구조에 의존하고 있다는 점에서 구조적 위험성이 매우 크다. 대체 수원(댐, 하천 등)의 다양성이 부족함에도 관련 투자 계획은 현재까지는 부재한 상황이다.

- 평균 150~200m 깊이의 심정에서 물을 취수한다. 현재 운영 중인 337개의 심정펌프는 23개의 정수장(펌프+배수지)과 50개의 배수지를 통해 하루 약 50,000m³의 물을 공급하고 있으며, 비슈케크시 인구의 최소 90% 이상에 해당하는 식수 수요를 충족하는 양이다.
- 지하수는 일반적으로 오염에 강한 수원으로 평가되지만, 과도한 양수와 기후변화로 인한 재충전 감소, 주변 산업·생활폐수 유입 가능성 등을 고려할 때 장기적으로는 고갈 또는 수질 악화 우려가 있다.

나) 계절별 상수도 공급 현황

- 봄(3~5월)
 - 강수량 증가 및 용설로 인한 하천 수량 상승이 관측되며, 이는 지하수층 재충전을 촉진하여 상수원 확보에 긍정적인 역할을 하고 있다.
 - 비슈케크시는 대체로 지하수에 의존하고 있으므로, 봄철 증가는 공급 여력을 확보하는 중요한 시기이다. 관련 국가 전략도 봄철 수원 활용 및 저류 기반 구축에 중점을 두고 있다.
- 여름(6~8월)
 - 이 시기는 기온 상승과 더불어 강수량 감소에 따른 가뭄 위험이 큰 시기이다.
 - 실제로 2023년 여름, 비슈케크시 일부 지역에서 밤시간 제한 급수, 수돗물 공급이 중단되고, 주민에게 물병 배급이 이루어진 사례가 있다.
 - 이는 관정 및 하천 수원의 공급 부족이 도시 전역에 영향을 미친 사례로, 상당한 취약성을 노출하였다(Phys.org, 2023).
- 가을(9~11월)
 - 강수량이 점차 회복, 기온 또한 하강하는 가운데 수요가 줄어들며 공급 안정성이 비교적 회복되는 시기이다.
 - 다만 본격적인 겨울 대비를 위해 기저수위 확보 및 시설 점검이 요구된다.
- 겨울(12월~2월)

- 강수 형태가 주로 눈으로 직접적인 수원 공급보다는 산지 적설을 통한 '잠재적 저장'이 이루어진다. 즉, 봄의 용설과 강수 확보 여력을 위한 사전 기반으로 기능한다.

다) 비슈케크시 여름철 가뭄대응 현황

- 비슈케크시는 여름철 강수량 감소와 기온 상승으로 인해 상수도 공급 압박이 심해진다. 특히 농업 관개 수요와 도시 상수도 수요가 동시에 최대치에 달하는 시기에 공급 부족이 빈번히 발생한다(Phys.org, 2023). 이에 따라 다음과 같은 대응이 실제로 시행되거나 계획되고 있다.
 - 제한 급수 운영 : 2023년 여름에 일부 지역에서 야간 제한 급수와 병입수 배급이 실시된 사례가 있다.
 - 인프라 현대화 : EBRD의 Bishkek Green City Action Plan에서는 노후 관망 37.5km 교체, 지하수 펌핑시설 개선, 정수장 현대화를 포함한 공급 인프라 개선 계획이 제시되어 있다.
 - 관개 효율화 : 이식쿨 호수 유역의 농업용수 관리 개선 사례처럼, 관개 효율화와 절수 기술 도입을 통해 여름철 물 부족 완화가 가능하다(Times of Central Asia, 2023).
 - 국가 차원의 물관리 전략 : 국가수자원전략 2023-2040은 관정 개발, 수로 유지보수, 저수지 건설 등을 통한 계절별 수급 불균형 완화를 목표로 한다(State Agency on Water Resources of the Kyrgyz Republic, 2023).

라) 정수 처리 운영 체계

- 현재 비슈케크시의 정수처리는 염소 소독(Chlorination)만 실시되며, 활성탄 흡착, 막여과, 침전·응집 등 고도처리 과정은 적용되지 않는다. 이는 수질 오염 사고 발생 시 시민 건강에 직접적인 위협이 될 수 있다.
 - 정수장 23개소 중 10개는 자연유하 방식으로, 13개는 펌프를 통한 가압 방식으로 공급되고 있다. 가압 방식의 상수 공급은 전력을 많이 소비하며 유지비가 비싸다.
- 운영 인력은 각 정수장마다 2인 1조 체계(운전근무자 1명 + 경비 인력 1명)로 구성되어 있으며, 자동화 수준이 매우 낮아 대부분 인력 의존도가 높은 운영체계이다.
 - 일부 정수장에는 유출 유량계가 설치되어 있으나, 하루 2회 수동 측정 방식으로 실시간성이나 데이터 활용도는 낮다. 또한, 2015년에 설치된 일부 data logger 체계는

유량 및 수압 정보 일부만을 간헐적으로 기록하고 있어, ICT 기반 스마트 물관리 시스템과는 거리가 멀다.

마) 수도 요금 현황

- 비슈케크시의 상수도 요금은 \$0.11(10숨)/m³이며, 생산원가인 \$0.16(14숨)/m³를 크게 하회한다. 수용가에 수도미터가 없는 곳이 많으며, 1인당 물 사용량 350L를 기준으로 정액요금이 부과되고 있다.

숨(SOM): 키르기스공화국은 소련 해체 이후 CIS 국가 중 최초로 독자적 화폐인 숨(SOM)을 발행하여 변동환율제도를 도입해 운영 중이다(환율 기준: Aug 13, 10:46 AM UTC· From Morningstar).

- 요금 적자 구조가 지속되면 정비·개선 투자 여력도 함께 감소하게 되며, 중장기적으로는 수도물의 질적 저하 및 서비스 중단 위험도 존재한다. 일부 아파트 단지는 단지 단위 수도미터 및 세대별 수도미터를 함께 보유하고 있으나, 이는 전체 공급 인구 중 극히 일부에 불과하다. 수도미터 부재로 물 사용량 파악과 무수수량(NRW) 관리 역시 매우 어려운 상태이다. 따라서 누수, 불법 사용, 미계량 공급 등이 지속적으로 발생할 수밖에 없는 구조이다.

3) 주요 문제점 및 개선 방향

가) 요금 시스템 개혁 및 수도미터 전면 설치

- 비슈케크시의 정액요금 중심 요금 체계는 물 사용량 기반 요금 체계로 전환이 필요하며, 이를 위해 수도미터의 대대적인 보급·설치가 필요하다. 이는 단순한 요금 부과 방식을 넘어서, 물 절약 유도, 수요 예측, 무수수량(NRW) 감축, 에너지 소비 절감 등 다양한 측면에서 긍정적 효과를 기대할 수 있다.

나) 용수공급 능력의 구조적 한계

- 전체 정수처리 시설 가동률이 100%에 도달하였으며, 도시 확장과 인구 성장으로 인해 증가하는 물 수요에 관한 대책이 필요한 상황이다.
- 정수처리 시설 공급 한계를 돌파하지 않으면 가까운 미래에는 물 부족 문제가 가시화될 수 있다. 이에 대한 해결책으로는 신규 심정 개발, 기존 취수시설의 확장, 장기적인 수도정비기본계획(Master Plan) 수립이 필수적이다.

다) 노후 설비 현대화 및 에너지 효율 개선

- 정수처리 시설의 주요 설비는 평균 20년 이상 사용된 노후 장비가 많고, 수동 운전 방식으로 인해 운영 효율이 낮고 에너지 소비는 높다.
 - 이를 개선하기 위해서는 SCADA 기반의 원격감시제어시스템, 고효율 펌프 및 인버터, 모터 제어장치(VFD) 등의 도입이 필요하다.

라) 스마트 수자원 모니터링 시스템 부재

- 지하수의 수위 및 수질 변화에 대한 실시간 감시 체계 부재로, 오염사고 또는 과잉 취수로 인한 자원 고갈에 대응이 어렵다.
 - IoT 센서, 클라우드 기반 데이터 통합 플랫폼, AI 분석 시스템을 구축하여 실시간 감시와 조기경보 체계를 마련할 필요가 있다.

마) 분산된 거버넌스 체계 개선 필요

- 키르기스공화국의 물관리는 농업부, 국가수자원청, 건설청, 지역 정부 등 다수 기관이 중복적으로 관리하고 있어 정책 일관성 확보가 어렵다.
 - 이에 따라 IWRM 원칙을 반영한 전담기관 설립 혹은 조정 메커니즘 마련이 필요하며, 법·제도 정비와 행정절차 단순화도 함께 추진될 필요가 있다.

다. 오쉬시(Osh City) 상수도 현황

1) 개요

가) 지형 및 기후 특성

- 키르기스공화국 남부에 있는 제2의 도시로, 인구는 약 300,000명 이상이며, 페르가나(Fergana) 분지의 중심부에 자리잡고 있다. 오쉬(Osh)시는 약 3,000년의 역사를 지닌 실크로드의 거점 도시로, 현재는 남부 지방의 경제·교육·문화 중심지로 기능하고 있다.
 - 지역 내 제조업과 상업 활동이 활발하며, 우즈베키스탄 국경과 가까워 국제 물류와 교역 기능도 병행하고 있다.
- 기후는 온난한 대륙성 기후(BSk 또는 Dsa)로, 여름은 덥고 건조하며 겨울은 비교적 온화하나 일교차가 크다. 연평균 강수량은 300~400mm 정도로 적은 편이며, 주로 봄과 가을철에 집중되어 있다.

- 이와 같은 기후 조건은 수자원 확보와 관리에 있어 구조적 제약 요인이 되며, 상수도 운영 시 안정적인 수원 확보 및 고탁도 대응이 중요한 과제가 된다.

나) 도시 성장과 기반시설

- 도시는 빠르게 성장하고 있으며, 신규 주거지 개발, 산업단지 확대, 공공시설 수요 증가와 함께 물 수요 역시 지속적으로 증가하고 있다.
- 특히 저소득층이 밀집된 외곽 지역에서는 물 공급 서비스의 형평성과 접근성이 여전히 과제로 남아 있어, 지속가능한 도시 물관리 전략이 필수적인 상황이다.

2) 물관리 현황

가) 정수처리시설 현황

- 4개의 정수장에서 물 공급을 하고 있으며, 이 중 오스굴(Osgul) 정수장은 130,000톤/일을 공급하는 핵심 시설이다. 이 정수장은 응집제를 사용하지 않고 완속여과 방식을 채택하고 있으며, WB(World Bank) 지원으로 염소 중화설비가 현대화된 바 있다.
- 오쉬(Osh)시는 총 100,000가구에 상수도를 공급하고 있으며, 전체 인구의 약 73%가 상수도 서비스를 이용하고 있다. 그 외의 3개 정수장은 20,000톤/일 이하의 소규모 시설이며, 이외에도 30개의 지하수 기반 소규모 정수장이 존재하여 총 30,000톤/일의 용수를 생산하고 있다. 총공급량은 160,000~170,000톤/일 수준이며, 이를 지원하기 위한 배수지 35개소가 운영 중이다.

나) 수질관리

- 수질관리는 비교적 체계적으로 운영되고 있으며, 수질검사팀 10명이 총 140개 지점에서 시료 채수, 27개 항목에 대해 정기 검사를 수행하고 있다.
- 그러나 정수 시스템의 핵심인 기존 여과설비는 노후화가 심각해, 처리 효율 저하와 수질 기준 초과 가능성이 지속적으로 제기되고 있다.

다) 수원

- 오쉬(Osh)시의 주요 수원은 Papan 저수지로, 빙하 녹은 물로 수량은 풍부하다. 강우시 고탁도 유입으로 정수처리시설 중단이나 품질 저하 문제가 발생하고 있다.

- 평상시 수중 탁도는 5 NTU 미만으로 안정적, 우천 시에는 50 NTU 이상으로 급상승하여, 기존 여과 시스템만으로는 처리수 수질 기준을 충족시키지 못하는 상황이 빈번히 발생한다.

라) 수도 요금 현황

- 오쉬시의 상수도 요금은 \$0.08(6.88솀)/m³이며, 요금은 계량기가 설치된 세대에 한하여 사용량 기반으로 산정된다. 전체 가구의 15% 미만에 불과한 계량기 보급률로 인해 다수의 세대는 여전히 정액제로 부과받고 있다.
 - 현재 요금 수준은 전력비와 운영비를 포함한 원가에 비해 낮아 수도사업소의 재정 자립도에 한계가 있으며, 신규 투자와 시설 현대화가 지연되는 원인이 되고 있다. 이러한 구조적 문제를 해소하기 위해 2025년 시의회에서 요금 인상이 승인되었으나, 구체적인 인상 단가는 아직 공개되지 않은 상황이다.

3) 주요 도전 과제 및 개선 방향

가) 고탁도 대응을 위한 정수처리 보강

- 우천 시 탁도 급상승으로 정수처리 한계에 도달하는 문제가 반복되고 있으며, 미세여과(Microfilter, MF)막 시스템 또는 응집·침전 강화를 위한 보조 정수처리 공정 도입이 필요하다.
 - 우천 시 탁도 급상승으로 인한 상수 공급 중단은 지역 주민 만족도 저하 및 민원 발생으로 이어질 수 있다. 미세여과막 이나 응집·침전 강화 방식은 기존 정수장과 연계한 간헐적 운영 체계로도 구축가능하여, 효율성과 안정성을 동시에 확보할 수 있다.

나) 수도미터 확대 및 NRW 관리체계 구축

- 오쉬(Osh)시는 수도 수용가 전체의 약 15%인 15,000가구에만 수도미터가 설치되어 있으며, 대부분 공공기관이나 상업용 수도미터가 설치되어 있다.
 - 일반 주택에는 수도미터가 없어 정확한 물 소비량과 무수수량(NRW) 측정이 어렵다. 현재 EBRD 지원으로 3,600가구에 스마트 수도미터기가 설치되었고, 10,000가구 추가 보급이 계획 중이다. 향후 단계적 보급 전략 수립이 필요하다.

다) 원격감시제어(SCADA) 시스템 부재

- 현재 일부 펌프장에서 data logger 체계만 구축되어 있으며, 통합 SCADA 체계는 부재하다.

- 실시간 데이터 통합과 이상 감지, 에너지 모니터링을 위한 스마트 운영체계 구축이 시급하다. 또한, WB·ADB(Asian Development Bank)의 자동화 지원에도 불구하고, 수요 기반 최적 운전 전략 부족으로 에너지 효율 개선이 필요하다.

라) 펌프 효율 분석을 통한 에너지 최적화

- 약 200만 kWh의 전력이 매월 상수도 시스템 운영에 사용되고 있으며, 주요 펌프장은 WB 및 ADB의 지원으로 자동화와 현대화가 이루어져 있다.
- 시간대별 수요 및 압력 변화에 따른 최적 운전전략은 부족한 상황이다. SCADA 시스템과 연계한 펌프 효율 분석 및 자동제어 알고리즘을 도입하면 정점 요금 회피와 에너지 비용 절감 등 추가적인 개선이 가능하다.

[그림 1-1] 오쉬(Osh) 제5펌프장에 설치된 WB 및 ARIS 지원 사업 정보 게시판



라. 스마트 물관리 도입의 필요성과 기대 효과

1) 비슈케크시의 물관리 현황과 문제점

- 비슈케크시는 도시 전체가 상수도 공급망에 포함된 것으로 보고되지만, 실제로는 외곽 지역과 일부 비공식 정착지에서는 급수망이 보급되지 않아 지역별 불평등이 존재한다. 상수도 생산은 100% 지하수(150~200m 심정)에 의존하고 있으며, 현재 모든 생산 시설이 최대 가동 중이어서 장기적인 수요 증가를 감당하기 어렵다. 정수처리는 염소 소독 외에 별도의 고도처리가 없어 수질 안전성이 낮고, 사고 발생 시 대응 능력이 취약하다. 가정의 80% 이상이 수도미터를 설치하지 않아 정량 기반 요금 부과가 불가능하고, 이는 무수수량(NRW) 관리의 부재와 요금 현실화의 어려움으로 이어진다. 또한 물 요금은 생산 단가(14 Som/m³)보다 낮은 수준(10 Som/m³)으로 책정되어 있어 재정적 지속가능성이 낮다.

- 아울러 SCADA 및 원격 감시 시스템이 부재하여 유량·수압·수질 데이터가 수작업으로 제한된 지점에서만 수집되고 있어 실시간 분석 기반 운영이 어렵다. 노후화된 관망과 낮은 자동화 수준은 에너지 소비 증가로 이어지고 있으며, 운영 인력 역시 1개 시설당 2명에 불과해 효율적인 유지보수에 한계가 있다. 더불어 유역 단위 거버넌스가 미흡해 국가 차원의 수자원 통합관리와 연계되지 못하고 있는 것도 중요한 구조적 문제로 지적된다.

2) 오쉬시의 물관리 현황과 문제점

- 오쉬시는 정수장과 배수지를 기반으로 한 대규모 상수도 체계를 운영하고 있으며, 빙하수 자원을 활용하여 비교적 풍부한 수량을 확보하고 있다. 그러나 파판(papan) 저수지로부터 공급되는 원수가 우기에 탁도가 급격히 증가해 정수장 가동이 중단되거나 수도물 공급이 일시적으로 중단되는 사례가 빈번하다. 일부 정수장은 노후화와 처리능력 부족으로 수요가 급증하는 시기에 대응하지 못하며, 고도 정수처리나 응급 대응 설비도 부재하다. 수도미터 보급률은 15% 미만으로, 사용량 기반 요금제 운영이나 손실수량 분석이 사실상 불가능하다. 또한 물요금이 낮게 책정되어 있어 운영 재정이 취약하고, 이에 따라 신규 투자와 시설 현대화가 지연되는 악순환이 발생하고 있다.
- 아울러 SCADA 시스템과 디지털 모니터링 체계가 부재하여 펌프 운영, 에너지 사용, 시스템 진단이 모두 수작업에 의존하고 있으며, 월간 전력 소비량은 200만 kWh 이상으로 매우 비효율적이다. 더불어 신규 도시 외곽 지역과 저소득층 밀집 지역은 상수도 기반시설 접근성이 낮아 서비스 불평등이 심화되고 있으며, 이는 공중보건 악화와 생활환경 저하로 이어지는 중요한 문제로 지적된다.

3) 키르기스공화국 물관리 현황과 문제점

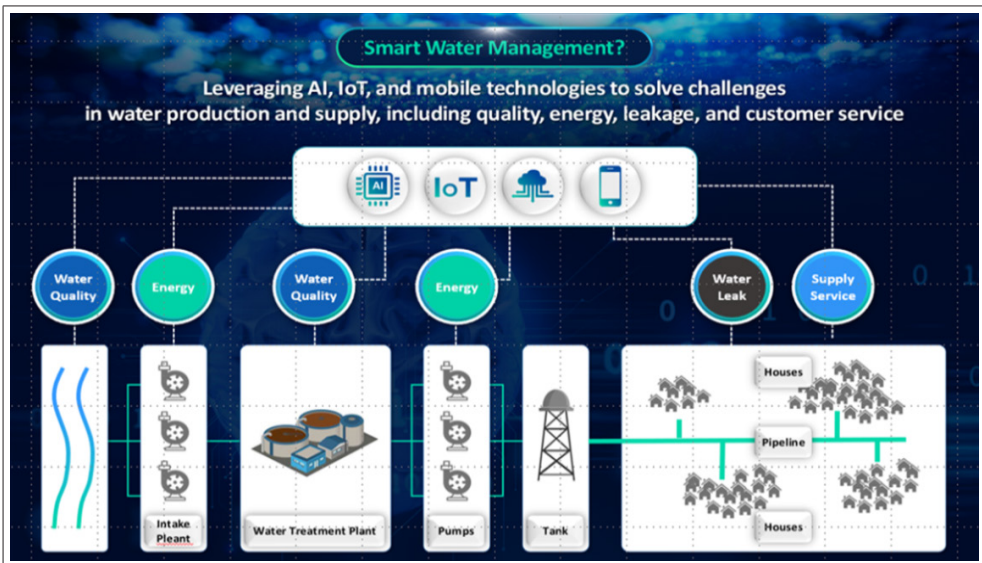
- 소규모 도시와 농촌지역은 전국 평균 상수도 보급률이 도시 100%, 농촌 94%로 보고되지만, 실제로는 노후화된 관망, 제한적인 수자원 확보, 인력 및 재정 부족으로 인해 안정적 서비스 제공이 어렵다. 특히 하수도 보급률은 전국 평균 약 20%에 불과하여 위생 문제와 수질오염 위험이 여전히 크다. 농촌지역에서는 수도미터 보급과 같은 기본적인 관리 체계가 미비하며, 대부분 정액요금으로 운영되어 수요 관리와 누수 관리가 사실상 불가능하다. 또한 시설 운영이 지방자치단체 예산에 크게 의존하고 있어 장기적인 투자와 유지보수에 한계가 있다.
- 아울러 유역 단위의 관리 체계는 취약하고 기관 간 협력이 부족하여 인접 지역 간 물 배분이나 수질 관리가 제대로 이루어지지 못하고 있다. 기후변화로 인한 가뭄과 홍수 리스크도 점차 커지고 있으나, 소규모 도시는 관련 대응 시스템을 갖추지 못한 상태이다. 그 결과 농촌 및 중소 도시는 상수도·하수도 서비스의 품질과 안전성이 크게 뒤쳐지고 있으며, 이는 국가 차원의 물관리 불균형을 심화시키는 주요 요인으로 작용하고 있다.

2) 스마트 물관리의 개념과 핵심 구성요소

가) 개념 정의

- 스마트 물관리는 물 공급 전 과정에 디지털 기술과 자동화 시스템을 통합하여, 운영 효율성, 수질 안정성, 에너지 절감, 자산 수명 연장, 위기 대응력을 동시에 향상시키는 혁신적 물관리 전략이다.
- 스마트 물관리는 단순한 설비 교체가 아니라, 데이터 기반 의사결정과 실시간 제어가 가능한 통합 플랫폼을 구축하여 기후변화 대응력과 재정 지속가능성을 갖춘 차세대 물관리 체계를 의미한다.

[그림 1-2] SWM의 개요



나) 핵심 기술 요소(Key Components)

(1) 노후 인프라 현대화 및 유지관리 혁신 기술

- 스마트 물관리 구현의 첫 단계는 노후 인프라의 효율적인 개선과 운영 최적화이다. 이를 위해 다양한 기술들이 적용될 수 있으며, 상수도 기반시설의 기능을 단순히 복구하는 것을 넘어, 운영 효율성과 서비스 품질을 획기적으로 개선할 수 있는 스마트 물관리의 기반 기술로서 높은 도입 가치를 지닌다.

(가) 관 세척 및 보수

- 관 세척에 대표적인 기술은 고압수 세정(high-pressure flushing)으로 관로 내부에 쌓인 침전물과 바이오필름을 효과적으로 제거한다. 동시에 비굴착 방식의 관로 보수 기법을 활용하여 노후 배관의 수명을 연장한다.
 - 도로 파손이나 주민 불편 없이 신속하게 수행할 수 있다는 점에서 도시 환경에 적합한 기술로 평가받고 있다.

(나) 무중단 유지보수 기술(Non-Shutdown Drilling)

- 수돗물 공급을 중단하지 않고 관로 보수를 수행할 수 있는 비파괴적 기술로, 서비스 연속성과 시민 불편 최소화 등의 장점을 가진다. 특히 병원, 학교, 공공기관 등 민감 지역에서의 유지보수 시 매우 효과적으로 활용된다.

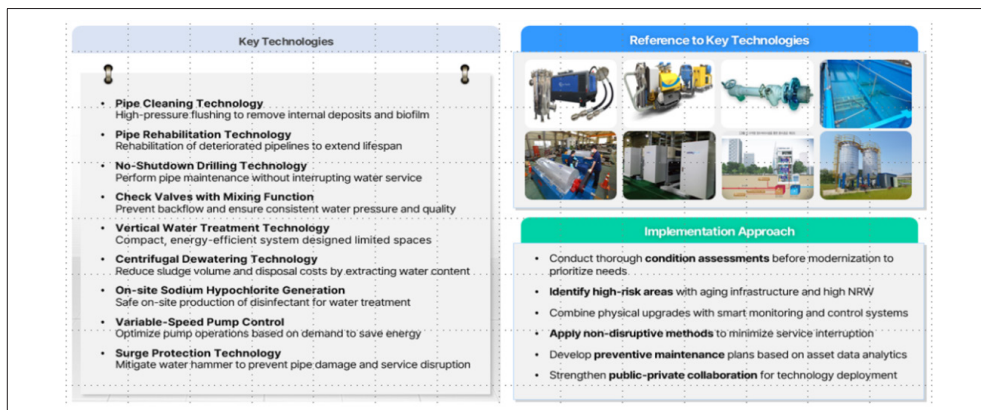
(다) 펌프 및 수압 제어 기술

- 운영 효율성 제고에 핵심적인 역할을 한다. 수요 기반의 가변속 펌프 제어(Variable-Speed Drive, VSD) 시스템은 시간대별 수요 변화에 따라 펌프 속도를 자동 조절함으로써 불필요한 에너지 소비를 줄이고, 수격 작용(워터 해머)을 방지하여 관로 손상 및 서비스 중단을 예방할 수 있다.

(라) 현장 소독제 생성(On-site Sodium Hypochlorite Generation) 기술

- 정수처리에 필요한 염소계 약품을 현장에서 직접 안전하게 생산함으로써 운반·보관 위험을 감소시켜 안정적인 수돗물 소독이 가능하게 한다. 동시에, 공간 제약이 있는 현장에 적합한 소형 정수처리 모듈을 적용함으로써, 에너지 효율성과 운영 안정성도 함께 확보할 수 있다.

[그림 1-3] 기반 시설 유지 관리 및 관로 기술



(2) 디지털 자동제어 및 SCADA 통합

- 디지털 기반의 통합 운영체제는 상수도 운영의 실시간 대응력, 안전성, 그리고 예측 가능성을 높이는 데 핵심적인 역할을 한다.

(가) SCADA 기반의 통합 제어 체계

- SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템은 설비 상태를 원격에서 모니터링하고 제어하는 데 사용되는 기술로 PLC(Programmable Logic Controller), RTU(Remote Terminal Unit), HMI(Human-Machine Interface) 등으로 구성되며, 정수장, 펌프장, 배수지 등 주요 수처리 시설의 데이터를 실시간으로 수집하고 원격 제어할 수 있다.

(나) 통신 기반의 확보

- 제어 체계의 안정적인 운영을 위해서는 광케이블, 4G/5G 이동통신망, 또는 LPWAN(Long-Range Low Power Wide Area Network) 등의 통신망이 필수적이다. 넓은 지역에 분산된 장비들과의 원활한 데이터 송수신 및 운영 효율성 향상과 함께 통신 장애에 따른 서비스 중단 위험이 감소한다.

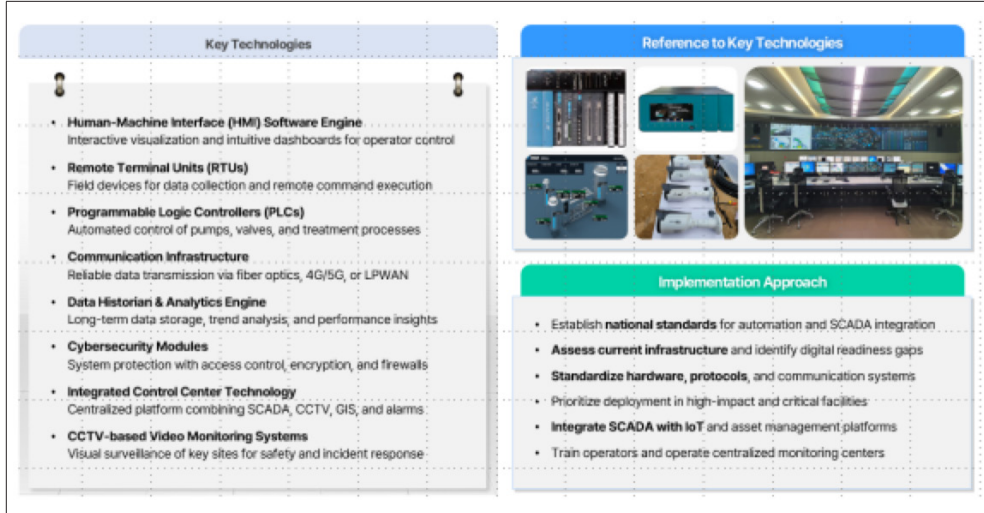
(다) 데이터 저장 및 분석 시스템(Historian & Analytics)

- 계측 데이터는 장기적인 트렌드 분석, 성능 진단, 사고 대응 체계 최적화에 활용되므로 저장 및 분석 체계가 필수적이다.
 - 예를 들어, 유량, 압력, 수질 등의 데이터를 시계열로 분석함으로써 이상 징후를 조기에 발견하고, 유지관리 및 에너지 운영계획 수립에 중요한 기초자료로 활용할 수 있다.

(라) 시스템 보안과 감시

- 시스템의 보안과 안전 향상을 위해 사이버 보안과 물리적 감시 기능 강화도 필요하다.
 - 보안과 물리적 감시는 접근 제어, 암호화, 방화벽 등의 보안 모듈이 적용되며, 주요 시설에는 CCTV 기반의 영상 감시 시스템이 구축되어 현장 상황을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 이러한 모든 시스템은 통합 통제센터에서 SCADA, CCTV, GIS, 정보 시스템 등을 연계하여 관리되며, 이를 통해 전체 상수도 시스템의 운영을 중앙 집중식으로 효율적으로 수행할 수 있다.

[그림 1-4] 자동화 및 SCADA 기반 제어 기술



(3) IoT 기반 스마트 의사결정 시스템

- 스마트 물관리의 핵심 구성 요소 중 하나는 IoT와 디지털 기술을 활용한 지능형 운영 시스템이다. 지능형 기술의 통합은 공급자 중심의 전통적인 상수도 시스템을 사용자 중심, 데이터 기반의 효율적인 물관리 체계로 전환하는 데 중요한 역할을 한다.

(가) 지능형 누수 탐지 기술

- 진동, 음향, 수압, 유량 센서를 활용하여 관망 내 누수 발생 여부를 실시간으로 감지할 수 있다. 이러한 기술은 기존의 육안 점검이나 민원 기반 대응보다 훨씬 빠르고 정확하게 문제를 탐지하여 손실을 줄이고, 신속한 유지보수를 가능하게 한다.

(나) 스마트 수도미터와 AMI(Advanced Metering Infrastructure) 시스템

- 수용가의 물 사용량을 원격으로 검침하고 실시간으로 데이터를 수집할 수 있는 체계를 제공한다. 이를 통해 사용자는 자신의 물 사용 패턴을 즉시 확인할 수 있으며, 수도사업자는 정확한 요금 부과와 함께 수요 예측, 이상 소비 감지 등 다양한 분석을 수행할 수 있다.

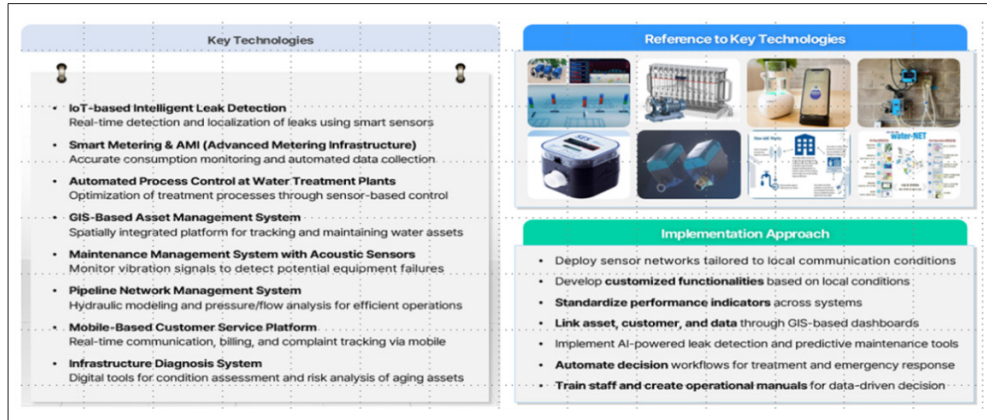
(다) GIS(Geographic Information System) 기반 자산관리시스템

- 배관망, 밸브, 펌프 등 상수도 자산의 위치, 성능 상태, 유지보수 이력 등을 지리정보와 연계하여 통합적으로 관리할 수 있도록 한다. 이 시스템은 유지보수 계획 수립, 긴급 상황 대응, 자산 투자 우선순위 결정 등에 매우 효과적으로 활용된다.

(라) 모바일 기반 고객 플랫폼

- 사용자가 스마트폰이나 컴퓨터를 통해 요금 조회, 납부, 누수 신고, 민원 접수 등을 손쉽게 처리할 수 있도록 지원한다. 이러한 플랫폼은 시민 참여와 서비스 만족도를 높이며, 사용자 중심의 스마트 수도물 행정 구현에 기여한다.

[그림 1-5] IoT-스마트 계량 및 자산관리 기술



038

(4) AI 기반 예측·제어 시스템

- 스마트 물관리의 고도화 단계에서는 인공지능(AI)을 활용한 예측 및 자동제어 기술이 핵심 역할을 한다. AI 기반 누수 및 이상 감지 기술은 음향 데이터, 수압 변화 패턴, 유량 흐름 및 유압 시뮬레이션 데이터를 분석하여 관망 내에서 발생할 수 있는 이상 징후나 누수를 사전에 예측할 수 있다. 이는 기존 탐지 방식보다 정밀도가 높고, 시스템 내 문제 발생 가능성을 사전에 차단하는 데 효과적이다.

- AI 기술은 수처리 시설 운영의 효율성과 안전성, 예측 가능성을 대폭 향상시켜, 기존 수작업 중심의 물관리 체계를 한 단계 높은 디지털 기반의 자동화 체계로 진화시키는 데 핵심적인 역할을 한다.

(가) 공정 제어 최적화

- 강화학습 기반 알고리즘을 통해 펌프의 작동을 자동으로 조정하고, 수요 변화에 맞춰 에너지 효율적인 운전이 가능하다. 또한 정수 공정에서의 약품 투입량도 실시간 수질 데이터에 따라 AI가 최적의 투입량을 제안하거나 자동으로 조절할 수 있어 처리 효율성과 비용 절감 효과를 동시에 달성할 수 있다.

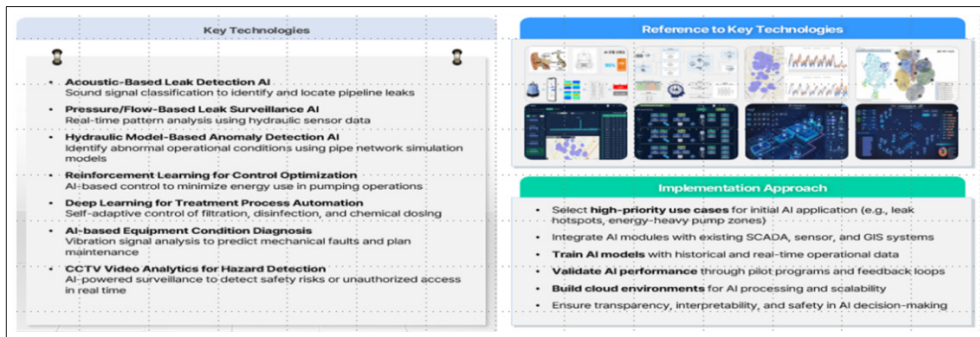
(나) 설비 고장 예측 진단

- 펌프, 밸브, 전동기 등 주요 설비에 부착된 센서에서 수집된 진동, 온도, 소음 등 다양한 신호 데이터를 분석하여 설비의 이상 징후를 사전에 감지하고, 고장이 발생하기 전 유지보수를 계획할 수 있도록 지원한다. 이를 통해 설비의 수명을 연장하고, 예기치 못한 정지로 인한 운영 차질을 줄일 수 있다.

(다) 현장 내 안전성 강화

- AI 영상 인식 기술을 통해 작업자 이상 행동, 외부 침입, 장비 화재 등 위험 요소를 자동 감지하여 실시간 경보를 발령할 수 있으며, 이러한 기능은 무인 시설이나 야간 운영 환경에서 특히 유용하게 활용된다.

[그림 1-6] AI 기반 스마트 물관리 기술



039

다) 구현 전략(Implementation Approach)

(1) 체계적인 실행 전략 필요

- 스마트 물관리 시스템의 효과적인 도입과 확산을 위해서는 체계적인 실행 전략이 필요하다.
 - 먼저, 상수도 시설의 노후도와 무수수량(NRW) 비율을 종합적으로 고려하여 개선이 시급한 지역부터 우선 적용 대상으로 선정하는 것이 중요하다. 이를 통해 한정된 예산과 자원을 효율적으로 배분하고, 조기 성과 도출을 기대할 수 있다.

(2) 시스템 구축 단계

- SCADA, IoT 센서, GIS 자산관리, AMI(원격검침 인프라) 등의 디지털 기술을 하나의 통합 플랫폼으로 연계하여 운영일원화 및 데이터 기반 의사결정이 가능하도록 해야 한다.

- 장비 사양, 통신 프로토콜, 소프트웨어 인터페이스 등에 대한 국가 단위의 표준화가 병행되어야 전국 단위 확산 시 상호운용성과 지속 가능성을 확보할 수 있다.

(3) 기술 도입 초기

- 민간기업과의 협력을 통해 최신 기술을 도입하고, 현장 적용성을 높일 수 있도록 운영 인력에 대한 교육과 표준 운영 매뉴얼 마련이 필요하다.
 - AI 기술은 초기부터 모든 분야에 적용하기보다는, 누수 탐지나 펌프 에너지 절감 등 비교적 효과가 명확하고 적용이 용이한 분야부터 시범적으로 도입한 뒤, 점진적으로 확대하는 방식이 바람직하다.

(4) 시스템 구축 이후

- 성능지표와 운영 데이터를 지속적으로 분석하고, 클라우드 기반 플랫폼을 활용해 확장성과 유지관리 효율성을 확보해야 한다.
 - 이러한 전략적 접근을 통해 스마트물관리 시스템은 단기 성과와 함께 장기적인 지속 가능성도 함께 달성할 수 있다.

라) 도입 기대 효과

(1) NRW 감축 및 재정 안정화

- 가장 직접적인 효과는 무수수량(NRW) 감축이다.
 - 스마트 수도미터와 누수 감지 시스템을 도입함으로써 정확한 사용량 파악과 손실구간 조기 식별이 가능해지며, 물 낭비를 줄이고 요금 징수 기반 강화를 통해 상수도 운영기관의 재정 건전성을 회복할 수 있다.

(2) 수자원 보전 및 기후변화 대응

- 스마트 모니터링은 지하수 수위, 수질 변화에 대한 조기 경보체계 구축이 가능하다.
 - 물의 과잉 취수나 수질 악화에 신속하게 대응할 수 있다. 이는 지하수에 전적으로 의존하는 비슈케크시와 같은 도시에서 장기적인 수자원 보전을 위한 핵심 수단이 될 수 있다.

(3) 운영 효율성과 에너지 절감

- SCADA 시스템과 펌프 효율 분석 시스템을 결합하면 시간대별 최적 운전, 에너지 부하 분산, 정점 요금 회피 전략을 통해 운영 에너지 비용을 최대 15~25%까지 절감할 수 있다.
 - 오쉬(Osh)시와 같이 월 200만 kWh 이상을 소비하는 도시에서는 전력 소비 절감 효과가 매우 크다. 비슈케크시의 경우, 지하 250m 깊이에서 지하수를 취수하여 사용하는 구조로 물 생산 과정에서 상당한 에너지를 소비하고 있어, 스마트 시스템 도입을 통한 에너지 절감 효과가 특히 크다.
 - 또한 SCADA 시스템을 통해 펌프장의 무인 운영이 가능해짐에 따라, 기존 운영 인력을 순회 점검 및 설비 유지관리 인력으로 전환할 수 있어 근무 여건 개선 및 인력 운영의 효율성도 함께 향상된다.
 - 아울러, 스마트 제어 기능을 활용하여 수요에 따른 최적 수압을 실시간 분석하고 원격에서 조정하는 시스템을 적용함으로써, 배관 손상 방지, 에너지 절감, 수돗물 품질 유지 등 종합적인 운영 최적화가 가능해진다.

(4) 위기 대응 능력 및 시민 신뢰 제고

- 데이터 기반 운영은 누수, 오염, 압력 이상 등 비상상황에 대한 빠른 대응을 가능하게 하며, 서비스의 안정성을 확보한다. 또한 시민들에게도 투명하고 신뢰할 수 있는 수돗물 서비스 제공이 가능해져, 공공서비스에 대한 인식 개선에도 긍정적이다.

마. 본 연구의 목적 및 주요 내용

- 본 연구는 키르기스공화국의 수도인 비슈케크시를 대상으로 물 관리 시스템의 탄력성, 효율성, 신뢰성을 향상시키기 위한 스마트 물관리(Smart Water Management, SWM) 도입 방안을 제시하는 것을 주요 목적으로 한다.
 - 특히 현지의 물 관리 정책과 운영 현황에 대한 종합적인 분석을 기반으로, 한국의 스마트 물관리 사례를 벤치마킹하여 비슈케크시에 적합한 통합 도시계획 기반의 스마트 물관리 접근방식(Smart Water City, SWC)과 실행 가능한 로드맵을 수립하는 데 중점을 둔다.
- 본 연구는 단순한 기술 이전을 넘어 데이터 기반 도시계획, 스마트 기술 통합, 지속 가능한 물관리 정책 수립을 목표로 하며, 키르기스공화국의 물 문제 해결에 실질적이고 구조적인 기여를 하는 것을 지향한다.

1) 비슈케크시의 도시 물관리 실태를 다각적 평가

- 키르기스공화국의 물 관리 정책 및 제도 분석, 수질·수량·수압·누수 등의 기술적 데이터 분석, ICT 및 디지털화에 대한 장애요인 파악, 기후변화 대응을 위한 시나리오 분석 등이 포함된다. 또한, ICT 기술 적용 가능성과 디지털 전환을 위한 현지 정책 및 인프라 상황도 함께 검토한다.

2) 한국의 SWMS 도입 사례 분석을 통한 키르기스공화국에 적용 가능한 시사점 도출

- ICT 기반 상수도 운영 체계, 법제도 및 거버넌스 구조, 지능형 계측 기술, 운영주체 간 협력 모델 등을 중심으로 분석하며, 현지 여건에 맞춘 적용 가능성과 한계를 함께 제시한다.

3) 비슈케크시에 SWM 도입을 위한 단계별 실행 로드맵 마련

- 디지털 전환과 관련된 투자계획, 기술 선택 기준, 이해관계자 분석, 운영 데이터 기반 정책 설계, 성능지표 설정 등이 포함되며, 실제 정량적 편익까지도 고려하여 실효성을 높인다. 또한, 수질·수량 관리, 자산관리, 누수 및 수압 관리, 계량 시스템 도입 등 물관리 전 분야에 걸친 통합 기술 및 정책 제안을 포함한다.

4) 정책 교류 강화를 위해 정책 실무자 초청 연수 및 지식 공유 활동

- 외교부 주관 한-키르기스공화국 경제공동위원회 등 공식 채널을 통해 연구 성과를 공유하고, 주요 이해관계자를 대상으로 정책 보고회 및 실무자 연수를 실시함으로써 현지 수용성과 실현 가능성을 제고한다.

2. 연구 범위 및 방법론

가. 연구 대상 지역 및 주요 분석 범위

- 본 연구는 키르기스공화국의 수도 비슈케크시(Bishkek)를 중심으로 수행되며, 다양한 상수도 운영모델과 UWMS(Urban Water Management System) 특성을 비교 분석하기 위해 제2의 도시 오쉬(Osh)를 추가로 포함하였다. 두 도시는 상이한 수원 구조, 인프라 노후도, ICT 적용 수준, 정책환경을 보유하고 있어, SWM의 맞춤형 적용방안을 설계하고 국가 확산 전략의 기반을 마련하는 데 적절한 비교대상이 된다. 본 연구의 주요 분석 범위는 다음과 같다.

1) 기존 물관리 정책 및 법·제도 분석

- 비슈케크시와 오쉬시를 대상으로 스마트 물관리 도입을 위한 현황을 종합적으로 평가하고, 정책적·기술적 개선방안을 도출하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 기존 물관리 정책과 법·제도, 상수도 시설 운영관리 현황, ICT 도입의 장애 요소와 디지털화 가능성, 스마트 기술 활용 가능성, 도시 물 소비 시나리오, 그리고 비교 대상 도시의 사례 등을 각각도로 분석한다.

2) 상수도 시설 운영관리 현황 분석

- 먼저, 국가와 지방정부의 물관리 정책, 법률, 시행령을 면밀히 검토하고 정책 실행 과정에서 나타나는 제도적 한계와 개선 필요 요소를 도출한다. 또한, 이러한 제도 환경이 스마트 물관리와 어떻게 연계될 수 있을지 변화 가능성을 탐색한다.

3) ICT 활용 장애 요소 및 디지털화 가능성 분석

- 다음으로, 상수도 시설의 운영 실태를 진단한다. 정수처리와 공급 시스템의 운영 상태를 평가하고, 지하수 취수 구조, 수질 관리 체계, 에너지 소비 특성 등을 검토한다. 시설물 유지관리 방식과 민원 대응 체계 또한 분석하여 운영상 문제점을 파악한다.

4) 스마트 물관리 기술 활용 가능성 분석

- ICT 활용 측면에서는 데이터 인프라, 센서 및 수도미터 보급률, 자동화 수준 등을 중심으로 기술적 요소를 진단한다. 아울러 예산 부족이나 초기 투자비 부담 등 재정적 장애요인을 분석하고, ICT 기술 적용을 가로막는 규제적 한계와 허가 절차도 검토한다.

5) 도시 물 소비 및 접근성 시나리오 분석

- 스마트 물관리 기술의 활용 가능성은 원격 감시제어(SCADA), AI 기반 분석, 스마트 계량, GIS 자산관리 등 핵심 기술을 중심으로 평가한다. 기존 시스템과의 통합 적합성, 통신 인프라, 에너지 최적화 가능성을 점검하고, 파일럿 지역을 설정해 기술 적용 방안을 구체적으로 검토한다.

6) 비교 대상 도시(오쉬(Osh)) 시스템 분석

- 또한 비교 대상인 오쉬시의 경우, Papan 저수지 기반 수원의 고탁도 문제와 여과공정의 한계를 진단하고, 수도미터 보급률, NRW 관리체계, 펌프 에너지 운영 효율을 분석한다. 이를 비슈케크시와 비교하여 정책적·기술적 시사점을 도출한다.

나. 데이터 수집 및 분석 방법

- 본 연구는 비슈케크시와 오쉬시를 대상으로 스마트 물관리 도입 가능성을 종합적으로 평가하고, 이를 통해 정책적·기술적 개선방안을 도출하기 위해 다층적 분석 방법론을 적용한다. 문헌조사, 정량 데이터 분석, 현장조사, ICT 기반 진단을 병행하여 다각도의 자료를 확보하고 이를 교차 검증함으로써 연구의 신뢰성과 타당성을 높이고자 한다.

1) 데이터 수집 방법

가) 문헌조사

- 데이터 수집은 네 가지 방식으로 이루어진다. 우선 문헌조사를 통해 「국가 수자원 전략 2040」, Green City Action Plan(GCAP), 스마트 수도미터 도입 사업 등 키르기스공화국 정부의 정책과 법령을 검토한다. 또한 세계은행, EBRD, KOICA, K-water 등 국제기구 및 유관기관의 사업 문서와 기술 보고서를 참고하고, 물공급량, 수질기준, 누수율(NRW), 수도미터 보급률 등 주요 통계자료를 수집한다. 아울러 한국의 스마트 물관리 사례와 기술 사양서, 성능 지표도 참조 자료로 활용한다.

나) 정량 데이터 확보 및 실측

- 정량 데이터 확보 및 실측은 주요 수질 항목(탁도, pH, 잔류염소 등)의 정기 측정자료, 지하수위·유량·압력계 등 운영계측값, 인구 증가율과 수요예측 자료, 서비스 커버리지 등 인구통계 기반 수요자료를 포함한다. 또한 요금체계와 누수 손실 관련 재무자료를 확보하여 재정적 관점의 분석을 병행한다.

다) 현지 인터뷰 및 설문조사

- 현지 인터뷰와 설문조사도 중요한 수집 방법으로 활용된다. BVK, Oshvodokanal, 국가수자원청 등 주요 운영기관과 행정기관을 대상으로 정책과 운영 현황, 기술 도입 여건에 관한 심층 인터뷰를 진행한다. 정책 입안자, 상수도 운영 실무자, 민간 전문가로 구성된 전문가 그룹의 의견을 수렴하여 현행 시스템의 문제점과 개선 방향을 분석하고, 주거·상업·산업용 수용가와 NGO, EBRD 현지 사무소 등의 의견을 반영하여 수요자 관점에서 스마트 물관리 수용성을 평가한다. 이 과정에서 수집된 의견은 정책 제언과 기술 도입 타당성 검토에 중요한 근거로 활용된다.

라) 현장 기술진단 및 계측

- 현장 기술진단과 계측을 통해서는 SCADA, PLC, RTU, 센서 등 디지털화 현황을 확인하고 운영자료를 확보한다. 또한 수리 로그, 고장 빈도, 민원 접수 자료를 통해 취약 구간을 확인하며, 고탁도 발생 시 정수장 가동 중지와 같은 주요 문제 사례를 정성적으로 진단한다.

2) 데이터 분석 방법

가) 정량 및 정성 분석

- 데이터 분석은 정량 분석과 정성 분석으로 나뉜다. 정량 분석에서는 수요 패턴, 유수율, 수질 기준 준수율 등 기초 통계를 산출하고 상관 분석을 실시한다. 또한 3~5년 이상 축적된 누수율, 사용량, 전력 소비량 데이터를 기반으로 추세 변화를 추적한다. 정성 분석에서는 정책 프레임워크의 효과성, 형평성, 지속가능성을 평가하고, 비슈케크시 상수도 시스템을 대상으로 SWOT 분석을 수행한다. ICT 도입에 영향을 미치는 기술적·재정적·법제적 장애요인을 매핑하고, 정부, 공공기관, 민간, 시민 등 이해관계자의 역할과 협력 가능성을 분석한다.

나) 기술 도입 타당성 분석

- 이와 함께 기술 도입 타당성 분석을 통해 현장과의 적합성을 검토한다. 통신망 가용성, 센서 설치 환경, 에너지 여건에 따라 최적의 기술 조합을 제시하고, 스마트 수도미터·누수감지·자동제어 시스템에 대한 ROI 분석을 실시한다. 또한 수도미터 확대, SCADA 구축, AI 기반 운영 최적화로 이어지는 단계별 디지털화 시물레이션을 통해 실행 가능한 로드맵을 검증한다.

다) 데이터 품질 확보 전략

- 데이터 품질 확보 전략도 병행된다. 수집된 정량 데이터는 전처리 과정을 거쳐 신뢰도를 확보하고, 설문조사와 인터뷰 내용은 다기관 크로스 체크 방식으로 검증한다. 현장 조사 결과는 문헌 및 운영 기록과 비교·분석하여 정합성을 확보하며, 결과 도출 전 이해관계자 워크숍을 통해 주요 분석 결과와 시나리오에 대한 피드백을 수렴한다.

다. 주요 이해관계자 및 협력 기관

- 본 연구의 효과적인 수행과 실행력 확보를 위해서는 정책수립 주체, 상수도 운영기관, 기술 공급자, 국제개발협력 파트너 등 다양한 이해관계자들과의 유기적인 협력체계 구축이 필수적이다. 이에 따라, 본 연구는 다음과 같은 주요 이해관계자 및 협력 기관을 중심으로 상호협력을 추진한다.

1) 정책 및 제도 관련 기관

- 정책 및 제도 관련 기관으로는 농업부가 있으며, 「국가 물 전략 2040」 수립을 주도하고 스마트 물관리 도입을 위한 제도 기반을 마련한다. 국가수자원청은 수자원 이용과 보전, 수문 데이터 관리, 인프라 투자계획 수립을 담당하며, 건설교통부와 도시개발청은 도시계획 및 기반시설 확장과 연계된 상수도 인프라 확충 정책을 논의한다.

2) 지방 운영기관 및 기술 협력 대상

- 지방 운영기관으로는 비슈케크의 BVK와 오쉬의 Oshvodokanal이 있다. BVK는 지하수 기반 상수도 시스템을 운영하며 정수장·펌프장 관리, 요금 징수, 민원 대응을 맡고 있다. Oshvodokanal은 광역 수원과 다수의 정수장을 운영하며 고탁도 대응 문제를 포함한 기술 현안을 직접 다룬다. 두 기관은 데이터 제공, 현장 진단 협조, 시범사업 대상지 선정과 기술 수용성 검토에서 핵심적 역할을 수행한다.

3) 국제개발협력 및 기술 자문 기관

- 국제개발협력 및 기술 자문 기관으로는 세계은행과 EBRD가 있으며, 이들은 과거와 현재의 물 인프라 개선사업을 지원해온 주요 투자기관으로 재정적·기술적 파트너 역할을 한다. 또한 KOICA와 K-water 등 한국 공공기관은 스마트 물관리 모델의 벤치마킹 대상이자 자문 및 기술협력 채널로 참여한다.

4) 민간 및 지역사회 이해관계자

- 민간 및 지역사회 이해관계자로는 스마트 물관리 기술기업과 수도미터·SCADA·IoT 솔루션 공급업체가 있으며, 기술 타당성 검토와 도입 방안 마련 과정에서 협력한다. 지역 NGO와 시민단체는 사용자 관점에서 요금제 변화나 민원 대응과 관련된 사회적 반응을 제공하며, 주거·상업·산업용 수용자는 수요자 수용성 분석의 핵심 대상이 된다.

5) 연구 및 자문 파트너

- 연구 및 자문 파트너로는 국내외 물관리 전문가와 컨설턴트가 정책과 기술을 연계하는 자문을 제공하고, 데이터 기반 분석 모델과 시나리오 기반 타당성 평가를 검토한다. 또한 키르기스공화국 내 연구기관과 대학은 현지 제도와 기술 환경 분석을 지원하고, 장기적 역량강화를 위한 학술적 협력 가능성을 탐색한다.

〈표 1-1〉 이해관계자 분석 요약표

이해관계자	주요 역할	관심사항	협력방안
농업부 (Ministry of Agriculture)	국가 물 정책 수립 및 「국가 물 전략 2040」 시행	정책 실현 가능성, 전략 로드맵 연계	정책 방향성과 연계된 실행안 제시, 정기 협의체 구성
국가수자원청	수자원 관리, 모니터링 체계 구축	수문 데이터 체계, 모니터링 자동화, 법제 연계	스마트 모니터링 시범사업 연계, 법제도 협력 자문 유도
BVK (Bishkekvodokanal)	비슈케크시 상수도 운영 주체	에너지 절감, 수도미터 확대, 시설 현대화	시범기술 도입, 운영 데이터 제공, 현장 협조 체계 구축
Osh vodokanal	오쉬(Osh) 상수도 운영 주체	고탁도 대응, 정수장 개선, NRW 관리	수처리 개선안 공동 설계, 운영효율화 기법 전파
EBRD	기존 인프라 투자 및 디지털 전환 촉진	ROI, 파급력 있는 개입 전략, ESG 효과성	정책 브리핑, 데이터 기반 논리 제공, 공동 로드맵 검토

제2장

키르기스공화국 상수도 관리 현황 평가

1. 키르기스공화국 물관리 현황
2. 비슈케크시 도시 상수도 관리 현황 평가
3. 오쉬시 도시 상수도 관리 현황 평가

키르기스공화국 상수도 관리 현황 평가

1. 키르기스공화국 물관리 현황

가. 국가 수자원 현황 및 이용 실태

- 키르기스공화국은 중앙아시아 내륙에 위치하며, 풍부한 수자원을 보유하고 있다. 특히 고산 지대의 빙하와 만년설은 주요 하천의 발원지가 되어 국내뿐만 아니라 주변국에도 물을 공급하는 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 이러한 수자원의 효율적인 관리와 개발은 노후화된 인프라, 기후변화, 비효율적인 물 사용 관행, 인근 국가 간의 복잡한 이해관계로 인해 다양한 도전 과제에 직면해 있다.

1) 수자원 관리 현황

가) 수자원

- 티엔산(Tian Shan) 산맥과 파미르(Pamir) 산맥에 위치한 빙하와 고산 호수를 통해 중앙아시아에서 가장 풍부한 담수 자원을 보유하고 있다(한국개발연구원, 2023). 주요 강으로는 나린강(Naryn River), 추(Chu)강, 탈라스강(Talas River) 등이 있으며, 이 강들은 국내뿐만 아니라 우즈베키스탄, 카자흐스탄, 타지키스탄, 투르크메니스탄 등 하류 국가들의 농업, 수력발전 및 생활용수 공급에 필수적인 역할을 하고 있다(KOTRA, 2025).
- 중앙아시아에서 드물게 자국 영토 내에서 모든 수자원이 자연적으로 생성되는 독립적인 수자원 보유국이다. 국토의 약 90%가 산악지대이며, 6,580개의 빙하와 만년설이 산재해 있어 연중 안정적인 수자원 유입이 가능하다.
 - 연간 평균 하천 유출량은 약 445억 m^3 에 달하며, 이 중 대부분은 관개와 수력발전에 활용되고 있다. 주요 수자원은 시르다리아(Syr Darya) 및 아무다리아(Amu Darya)강

유역으로 유입되며, 키르기스공화국은 이 유역에서 상류 국가로서 전략적 위치를 점하고 있다.

- 수량은 풍부하지만, 사용 구조의 비효율성과 인프라의 노후화로 인해 물의 실질적 가치는 저하되고 있다. 전체 수자원 이용량의 약 90%가 농업 관개에 집중되어 있으며, 생활용수는 3% 미만, 산업용수는 약 6% 수준에 불과하다.
 - 특히 1980년대 이후 농업 관개 면적은 증가했지만, 관개 인프라가 30년 이상 된 경우가 많고, 유지관리 체계가 미비하여 실제로는 전체 관개수의 약 35~40%가 손실되고 있다. 이에 따라 약 40% 이상의 농경지가 물 부족 상태를 경험하고 있으며, 이는 식량 안보와 농업 생산성에 부정적 영향을 미친다.

나) 농업용수 관리 및 관개 시스템

- 농업은 키르기스공화국 경제에서 중요한 비중을 차지하며, 특히 관개 농업에 대한 의존도가 높다. 키르기스공화국 노동력의 35%가 농·축산업에 종사하고 있으며, 전체 경지 면적의 80% 이상인 약 1,048천 ha가 관개되고 있다. 그러나 대부분의 관개 인프라가 40년 이상 노후화되어 물 손실률이 높고 비효율적인 물 사용이 이루어지고 있다(Kim. D. W., 2002; 한-중앙아시아협력포럼사무국, 2023).
 - 이에 ‘2017~2026년 관개시설 개발을 위한 국가사업’의 일환으로 관개시설 현대화 사업을 적극 추진하고 있다. 2023년 말까지 5개 수자원 시설의 건설 작업을 완료했으며, 46개의 관개시설 개선을 위해 약 \$6.7억을 투자할 계획이다. 또한, 물 공급 효율을 향상하고 농지 관리를 효과적으로 하기 위한 정책과 프로그램을 추진하고 있다. 2024년에는 물 부족 심화로 인해 일부 지역에서 여름철 낮 시간 동안 정원과 과수원에 식수를 사용하는 것을 금지하는 조치도 시행되고 있다(EMERiCs 러시아·유라시아, 2022; 한-중앙아시아협력포럼사무국, 2023).

다) 국제협력

- 수자원 관리 및 개발에 대한 국제협력을 활발히 추진하고 있다. 한국수자원공사는 키르기스공화국의 요청에 따라 국가 수자원 마스터플랜 수립을 지원하고 있으며, 추(Chu)강 소수력 개발 방안 수립 등 재생에너지 사업 협력을 이어오고 있다. 또한 환경부 온실가스 국제 감축사업 전담 기관으로서 온실가스 국제 감축사업 발굴 확대와 공적 원조사업(ODA) 연계를 통해 기후 변화 대응 및 물 분야 협력을 강화하고 있다(EMERiCs 러시아·유라시아, 2025; UNICEF, 2025).

2) 수자원 관리의 문제점

가) 기후변화 대책

- 기후변화는 키르기스공화국의 수자원에 심각한 위협을 가하고 있다. 유엔 세계물개발 보고서(The United Nations World Water Development Report, 2025)에 따르면, 티엔산(Tian Shan)과 파미르 산맥(Pamir) 산맥 등 중앙아시아 고산지대의 빙하 용해가 급속히 진행되어 지역 전체의 수자원 안보에 장기적인 위협이 되고 있다. 이는 농업용수 부족으로 이어져 식량 안보에도 악영향을 미칠 수 있으며, 가뭄으로 인한 경제적 손실(2050년까지 지역 GDP의 약 1.3% 손실 추정)도 증가할 것으로 예상하고 있다(EMERiCs 러시아·유라시아, 2025; UNICEF, 2025).

- 평균 기온 상승과 빙하 면적 감소로 인해 계절별 유출량이 불균형해지고 있으며, 하절기에는 홍수, 동절기에는 가뭄의 발생 빈도가 높아지고 있다. 이는 수자원 이용 계획 수립 및 용수 배분 정책에 새로운 변수로 작용하고 있다.

- 수자원 자체는 풍부하지만, 그 이용의 효율성과 형평성 측면에서는 ① 농업에 과도하게 집중된 수자원 이용 구조의 다변화, ② 노후 관개 인프라의 현대화, ③ 수력발전에 대한 과도한 의존도 완화 및 에너지 믹스 다변화, ④ 기후변화에 대응한 유역 기반 수자원 계획 수립, ⑤ 지하수 개발 및 수질관리 체계의 정비 등의 과제가 존재한다. 이러한 요소들은 향후 스마트 물관리 시스템 도입 시 핵심적인 고려 사항이다.

나) 에너지 측면

- 풍부한 수자원을 활용하여 수력발전을 확대하는 데 주력하고 있다. 전체 전력 생산의 90% 이상이 수력발전에 기반하고 있으며, 이에 따라 기후변화나 강수량 변화에 따라 전력 공급이 불안정해질 위험이 크다.

- 키르기스공화국의 연간 수력발전 잠재력은 약 1,740억 kWh로 추산되며, 이는 중앙아시아 전체 수력 잠재력의 약 10%에 해당하는 규모지만, 현재까지 개발된 것은 그중 10% 미만에 불과하다. 이러한 잠재력의 제한된 활용은 기술적·재정적 제약과 정책적 우선순위 부족으로 인해 발생하고 있다.

- 최근 국가 에너지 프로그램에 따르면, 2024년부터 2027년 사이에 기존 저수지에 총 80MW 용량의 소형 수력 발전소 여러 기를 건설 및 가동할 계획을 수립하고 있다. 이는 2024년 키로프 저수지 내 발라사류 수력발전소(21MW), 2026년 오르토 도쿄이 저수지 수력발전소(21MW), 2026년 카라쿨 수력발전소(18MW), 2027년 파판 수력발전소(20MW) 등을 포함한다. 2035년까지의 에너지 계획은 이러한 수력 자원을 활용하여 국가의 에너지 수요를 충족시키고 지속 가능한 발전을 촉진하는 것을 목표로 하고 있다(EMERiCs 러시아·유라시아, 2024).

다) 노후화된 물 인프라

- 단일 수원인 지하수의 경우, 일부 지역에서는 지표수에 비해 오염도가 낮고 안정적인 공급원이 될 수 있으나, 전국적인 수문조사 및 수질관리 체계가 미흡하여 체계적 개발이 제한적이다. 현재 지하수는 도시 상수도 공급과 일부 농촌지역의 음용수로 사용되고 있으나, 지속가능한 개발을 위한 지하수 재충전 관리 및 오염 방지 대책은 아직 미흡한 실정이다.
- 관개 시스템의 노후화는 효율적인 수자원 관리의 큰 걸림돌이다. 매년 약 1억 4,500만 m³의 식수가 생산되지만, 약 4,800만 m³는 불법 연결과 노후 관망으로 인한 누수로 손실되고 있다. 이는 물 낭비와 미래 수도시설 운영비 증가의 원인이 된다(EMERiCs 러시아·유라시아, 2024).
 - 수도 요금의 운영 비용을 충당하지 못하는 경우가 많아 재정적인 어려움이 크며, 이는 시설 유지보수 및 개선 투자를 어렵게 한다. 요금 현실화는 필수적이지만, 주민들의 경제적 부담을 고려해야 하는 복합적인 문제를 내포하고 있다(한국개발연구원, 2023).

라) 인접 국가 간 수자원 분배 갈등

- 중앙아시아 지역은 수자원 분배 문제로 인해 상류 국가(키르기스공화국, 타지키스탄)와 하류 국가(카자흐스탄, 우즈베키스탄, 투르크메니스탄) 간의 갈등을 겪고 있다(최수호, 2022).
 - 소비에트 시기에는 중앙정부가 관리했으나, 독립 이후 각국의 경제적 우선순위와 국경선으로 인해 수자원 보유 정도와 사용 용도에 대한 상충하는 목표가 부각되었다. 최근에는 수자원 활용에 대한 협의를 통해 갈등이 상당 부분 해소되고 있지만, 효율적인 수자원 공유 및 관리를 위한 지속적인 협력과 국제적 거버넌스 강화가 요구된다(한국수자원공사, 2024; KOTRA, 2025).

마) 인접 국가 간 물 분쟁 해결 방안

- 계절적 수요와 공급을 고려한 에너지-물 교환 정책개발
 - 키르기스공화국과 타지키스탄은 상류에서 수력발전을 통해 겨울철 전력 공급에 유리하지만, 하류 국가들은 여름철 농업용수 확보가 우선된다. 따라서 계절별 교환 체계를 제도화하는 것을 검토해 볼 수 있다. 예를 들어, 하류 국가들이 겨울철에 천연가스·석유·전기를 상류국에 제공하고, 상류 국가는 여름철에 일정량의 물을 방류하도록 하는 「에너지-물 스왑 협정」을 체계화하면 상호 이익을 보장할 수 있을

것으로 기대할 수 있을 것이다. 이는 기존의 임시적 협상 방식을 넘어 지속 가능한 법적·제도적 틀로 발전시킬 수 있을 것이다.

- 국경 초월 수자원 관리 기구 설립

- 현재 지역 협의체는 비정기적 협상에 그치고 있어 갈등 재발 가능성이 크다. 이를 개선하기 위해 「중앙아시아 공동수자원위원회(Central Asia Water Council)」와 같은 독립적·상설기구를 설치하고 다음과 같은 기능을 맡겨 국가 간 신뢰 구축과 장기적 거버넌스 기반을 마련할 수 있을 것이다.

- 수자원 모니터링 및 데이터 공유 플랫폼 운영
- 분쟁 발생 시 중재 및 합의 이행 점검
- 국제기구(세계은행, ADB, UNECE 등)와의 연계 프로젝트 관리

나. 주요 물관리 정책 및 법·제도 현황

1) 법률 체계

- 키르기스공화국의 물관련 주요 법률은 국가 수자원을 관리하는 ‘수자원법’, 수자원 이용에 관한 ‘물에 관한 법’, 국가 간 수자원 이용을 위한 ‘국경 수자원 공동 이용법’, 농업 분야의 물 사용을 위한 ‘물 사용자 협회 법’, 식수에 관한 ‘식수 및 위생법률’이 대표적이다.

〈표 2-1〉 키르기스공화국의 물관리 주요 법률

구분	역할
수자원법 (Water Code)	<ul style="list-style-type: none"> • 2005년 제정되었으며, 물의 사용·보호·개발을 포괄하며, 국가 수자원 소유, 유역 기반 관리, 수질 오염 예방, 댐 안전, 수리시설, 물펀드 체계 포함 • IWRM(통합물관리) 원칙 채택에도 불구하고, 아직 유역 계획·지하수 관리·면역적 자원 통합 운영 실행은 미흡
수자원 관리법 (Law on Water)	<ul style="list-style-type: none"> • 1994년 제정되었으며, 수자원 이용 및 관리, 오염 방지, 책임의무 명시 • 국가물펀드 정의 및 요금 지불 원칙 포함
국경 수자원 공동 이용 법 (Law on Interstate Use of Water)	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년 제정되었으며, 중앙아시아 국가 간 수자원 협력 및 분배 원칙 규정, 비용 분담, 협의 메커니즘을 제시
물사용자 협회 법	<ul style="list-style-type: none"> • 2002년 제정되었으며, 농업 분야 중심으로 물 사용자 협회(WUA)의 조직·운영 근거 마련
식수 및 위생법	<ul style="list-style-type: none"> • 2003년 제정되었으며, 지방자치단체 및 공급자 요금 규제, 투명성과 반독점 감독 의무 규정

자료: bio-conferences.org, documents1.worldbank.org, bio-conferences.org

2) 행정 및 제도 구조

〈표 2-2〉 행정 조직 구조

구분	역할
수자원 조직 체계	<ul style="list-style-type: none">• 농림부(농업·수자원·지역개발 부문)가 전반적 책임• 수자원청(Water Resources Service)이 집행 주체로, 유역계획 수립·집행 부담• 지방 단위의 '유역행정(Water Basin Admin)' 및 '유역위원회(Basin Council)' 설치로 유역 중심 관리체계 운영
국가 물 위원회 (National Water Council)	<ul style="list-style-type: none">• 총리가 주재하고 관련 부처 장관이 포함된 협의체로, 국가 수자원 전략 수립·조정·감독 등 기능 수행
주요 부처 역할	<ul style="list-style-type: none">• Jogorku Kenesh(국회): 법 제정, 요금 승인• 정부: 유역구역·전략 승인, 수자원청 감독• 물 위원회: 정책 조율 및 계획 수립

자료: faolex.fao.org

3) 주요 정책 및 전략

- 2023년 대통령령으로 2040년까지 수자원 전략 승인, 수자원의 전략적 중요성, 사회·경제적 지속가능성, 에너지·식량·생태계 안보 강조 FAO “식수·하수도 개발 프로그램”(2022년)을 통해서 농촌·도시 정수·하수도 시설 구축 및 운영 개선을 목표로 국가 수자원 정책을 추진 중이다. 또한, 2008년 이후 OECD가 집수계획, 정책개혁, IWRM 도입 지원하고 있다.

4) 예산·요금 시스템

- “오염자 부담 원칙”, “경제적 수자원 원칙”을 명시, 물 사용량에 따라 요금을 부과하고 있다.

5) 과제 및 개선 상황

- 유역 계획, 지하수 통합 관리 부족 및 정책 실행 등의 IWRM 원칙 실행이 미흡하다.
- 오염 감시, 참여적 거버넌스, 투명성 등에 대한 감독 및 정보 공개가 부족하며, 국경 수자원 관리 메커니즘이 존재하나, 실질적 협력·분쟁 해소 방식 추가 마련을 통한 국제협력 강화가 필요한 것으로 판단된다.

다. 키르기스공화국의 상수도 인프라 및 서비스 현황

1) 기본 접근성 및 서비스 수준

- 전체 인구의 약 76%가 안전한 식수에 접근 가능하며, 이 중 대부분은 상수도 관망을 통해 공급받고 있다.
 - 도시 지역의 식수 접근률은 약 92%이며, 농촌 지역은 67% 수준으로 지역 간 격차가 크다. 상수도 공급은 대부분 하루 23시간 이상 지속, 비교적 안정적인 급수 체계를 유지하고 있다.
 - 상수도 공급 지역 중 25%에서는 수인성 질병이 만연해 있는 것으로 조사되었으며, 이는 노후화된 시설 및 낮은 수질관리 수준과 밀접한 관련이 있다.
- 위생시설은 전체 인구의 약 93%가 접근 가능하지만, 하수도 연결률은 약 15%에 불과하며, 농촌 지역은 대부분이 간이 위생시설을 사용한다.

2) 시스템 구조 및 행정 체계

- 상수도 정책 및 실행은 농림부 산하 수자원청이 주관하며, 보건부는 수질 관리, 반독점청은 요금 규제 기능을 담당한다. 도시 지역은 BVK가, 농촌 지역은 마을 상수도 기업 또는 사용자 협회가 운영을 맡고 있다. 농촌의 경우, 관망이 지역사회에 무상 이관되어 사용자 협회가 유지·보수 및 관리 책임을 지고 있다.

3) 인프라 상태 및 투자 현황

- 전체 상수도관의 약 70% 이상이 노후화되어 대규모 수선이 필요한 상황이며, 하수도 시설도 사용 수명 경과로 기능 저하 및 위생 리스크가 증가하고 있다.
 - 상수도 운영 수익성이 낮아 자립적 운영이 어렵고, 무수익수(NRW) 비율이 50%를 초과하고 있다. 다수의 국제기구와 협력하여 인프라 재건 및 확충 사업 진행 중이며, 농촌지역을 중심으로 신규 상수도망 건설 프로젝트가 확대되고 있다.

4) 도전 과제 및 개선 방향

- 농촌의 낮은 급수 접근률 개선을 통한, 도시-농촌 간 상수도 서비스 격차 해소가 필요하다.
 - 이를 위해서 노후 관망 교체, 하수처리 확대, 자동화 시스템 도입 등의 인프라 현대화, 누수 관리, 에너지 효율적 운영 도입, 스마트 수도미터 확산을 통한 운영 효율성 제고, 중앙-지방 역할 재정립, 사용자 협회 지원체계 강화를 통한 제도 개혁, 수질 데이터 공개, 주민 참여형 의사결정 체계 구축을 통한 투명성 및 참여 강화, 요금 현실화, 성과기반 보조금 제도 도입 등을 통한 재정 안정성 확보 등이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 2-3〉 전략적 권고 사항

분야	개선 권고
인프라 현대화	상수도 관망 교체, 저압지역 보강, 하수도 시설 증설
재정 및 요금 구조	요금 구조 개편, 무수수량 감축 프로그램 도입
운영 역량 강화	지방 사용자 협회 교육 및 기술지원
정책 및 제도 개선	중앙-지방 간 명확한 역할 구분 및 권한 이양
데이터·투명성	실시간 수질 모니터링 및 공개 플랫폼 구축
재원 확보	국제기구 연계 투자 확대 및 민관협력(PPP) 활성화

2. 비슈케크시 도시 상수도 관리 현황 평가

가. 비슈케크시 물관리 정책 및 법·제도 분석

1) 제도적 기반

가) 중앙정부 주도형 구조

- 비슈케크시의 상수도 및 하수도 정책은 농림부 산하 수자원청(State Water Administration)과 식수·위생부서가 주도한다. 이들은 법·정책 수립, 사업 승인, 감독 등의 기능을 담당한다.

나) 기본 법률 체계

- 비슈케크시의 물관리 제도는 주로 세 가지 핵심 법률에 기반을 두고 있다.
 - 1994년에 제정된 ‘물 법(Law on Water)’은 수자원의 이용과 관리에 대한 전반적인 원칙을 제시하였다.
 - 2003년에는 ‘식수 및 위생법’을 통해 안전한 식수 공급과 위생시설 확충에 관한 법적 근거가 마련되었다.
 - 2005년에 도입된 ‘물관리법(Water Code)’은 수자원의 보호, 사용 허가 절차, 요금 부과 기준, 오염 방지 및 규제 등에 대한 포괄적인 법적 틀을 제공하고 있다. 이러한 법률들은 비슈케크시를 포함한 키르기스공화국 전역의 물관리 정책과 실행체계를 지탱하는 핵심 기반으로 작용하고 있다.

다) 법 개정 추진

- 최근 국회에서는 기존 물 관련 법률을 통합하고 유역 중심 관리체계를 강화하기 위한 새로운 ‘Water Code’ 제정을 추진 중이다.
 - 공공시설 소유권 명확화, 중앙-지방 역할 구분, 유역 단위 권한 강화 등을 포함한다.

2) 유역 기반 관리

- 비슈케크시는 추이(Chüy) 유역에 속하며, 유역수자원청과 유역위원회가 행정적으로 존재한다. 이론적으로 유역 중심의 관리체계를 지향하지만, 실질적으로는 중앙정부의 통제력이 강하고, 유역 기구의 실무적 권한은 제한적이다.

3) 도시 기반 시설 및 운영 구조

가) 상수도 및 하수도 기업

- 비슈케크시의 수도 서비스는 도시공기업(BVK)이 운영하며, 시설의 유지보수와 서비스 공급을 담당한다. 다만 투자 여력 부족과 인프라 노후로 서비스의 안정성과 품질 확보에 어려움이 있다.

나) 대표 인프라

- 도시 관개·공급·배수에 핵심적인 역할을 하는 Great Chüy Canal은 관리 미흡과 시설 노후화로 수질오염 및 용수 손실 문제를 야기하고 있다.

〈표 2-4〉 문제점 및 개선 방안

항목	주요 문제점	개선방안
법·제도	• 중앙집중형 구조로 지역 주체성 부족	• 유역 기반 정책과 지방 권한 강화를 위한 Water Code의 조속한 제정 필요
유역관리	• 형식적 유역기구 존재, 실질 권한·예산 미약	• 수도기업의 기술 지원과 인력 양성 확대, 민관 협력 방안 검토
인프라	• 노후 상수도·하수도관 다수, 파손 및 누수 빈번	• Great Chüy Canal 보수·확장, 상수도 및 하수도관망 교체, 유출입 지점 제어 설비 구축
수질관리	• 수질감시 체계 부족, 수질오염 방치 사례 존재	• 수질 자동 모니터링 시스템 구축, 수질정보 공개 시스템 도입
운영체계	• 지방공기업의 기술력·재정력 부족, 민간 협력 부진	• 요금 현실화, 외부 재원 활용 확대, 성과 기반 보조금 도입

나. 비슈케크시 상수도 시설 운영관리 현황

1) 정수처리 시스템 현황

- 비슈케크시는 모든 수원을 지하수에 의존하며, 염소 소독만 거쳐 공급하는 단순한 정수 방식을 사용하고 있다. 이는 단기적으로 저비용 운영이 가능하지만, 지하수 오염 발생 시 대응이 어렵다는 한계를 가진다.
- 현장 조사 결과, 비슈케크시는 총 334개의 취수정을 운영하고 있으며, 이 중 약 40%가 40년 이상 사용되어 표준 서비스 수명을 초과한 상태였다. 취수원의 대부분은 지하수에 의존하고 있으나, 일부 시설은 여과 설비 없이 공급되는 경우가 확인되었다.

- 관로 총 연장은 약 1,048 km이며, 이 중 45%가 30년 이상 경과한 노후관으로 분류된다. 주재질은 주철관(약 60%)과 강관(약 30%)이 대부분이며, 폴리에틸렌관 등 신 재질 비중은 낮다.
- SCADA 시스템은 일부 정수장에만 적용되어 있으며, DMA 구역은 시 전체 관망의 약 2% 수준에 불과하다. 수도미터는 주로 기계식이며, 교체 주기가 길어 검침 정확도 저하가 발생하고 있다.

[그림 2-1] Bishkek City의 수도시설



2) 수돗물 공급 시스템 현황

- 비슈케크시에는 총 23개의 정수장이 운영되고 있으며, 이 중 10개소는 자연유하 방식으로 배수지를 통해 공급되고, 13개소는 펌프를 이용한 가압식 공급 방식으로 운영되고 있다. 이러한 공급 체계는 지표수 대비 상대적으로 안정적인 수원 기반을 갖추고 있으나, 시설의 분산성과 유지관리 부담이 크며, 특히 펌프 운영에 따른 에너지 비용 증가와 노후화된 배관망 문제가 병존 중이다.
 - 주요 공급 인프라는 배수지 50개소와 334개의 지하수 취수펌프(심정)로 구성되어 있으며, 약 150만 명(50만 가구)에게 수돗물을 공급하는 중이다.

- 배수관망은 총 1,569.94km에 달하며, 고층 건물 공급을 위해 324개의 가압펌프장(Booster pumping station)이 운영되고 있다.
- 또한, 2024년 행정구역 개편(ATR)으로 인해 372km의 추가 관망과 79개의 관정이 새롭게 수도공사의 관리 범위에 편입되었으며, 이들 신규 시설 다수는 위생 보호구역이 미비하거나 정식 등록되지 않은 상태로, 추가 조사 및 설비 개선이 필요한 상황이다.
- 현장 조사를 통해 최근 3년간 생산·판매 실적 분석 결과, 비슈케크시의 NRW 비율은 33% 수준으로, 일부 급수구역은 50%를 초과하였으며, 24년 기준 연간 환산 시 손실량은 약 54백만 m³(약 33%)로 추정된다.

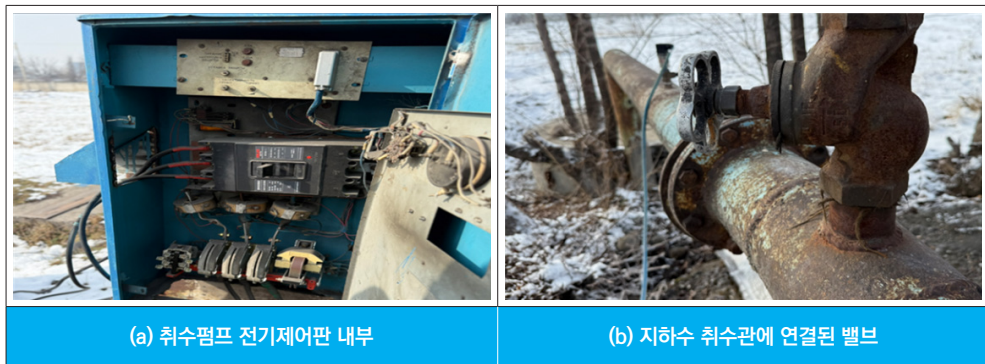
<표 2-5> 최근 3년 비슈케크시 물 생산량 대비 소비량

연도	생산량 (백만 m ³)	판매량 (백만 m ³)	손실량 (백만 m ³)	손실률(%)
2022	146.0	96.0	50.0	34
2023	154.0	96.5	55.5	36
2024	164.0	110.0	54.0	33

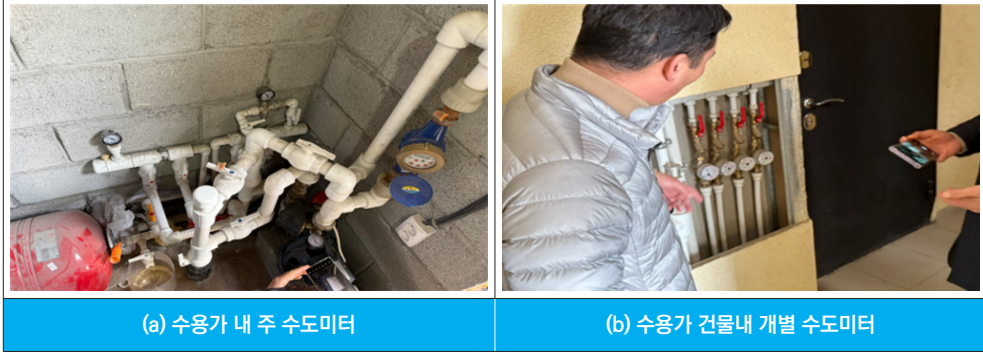
자료: BVK 내부 자료)

- 연간 사고 복구 건수는 약 1,700건에 달하며, 이에 따라 연간 약 342.47km의 관로가 세척 및 소독 처리되고 있다.
- 향후에는 중앙집중형 운영체계 또는 스마트 통합운영 시스템의 도입을 통해 공급 안정성과 운영 효율성 제고가 필요하다.

[그림 2-2] Bishkek City의 수도물 공급 시스템



[그림 2-3] 키르기스공화국 수용가 수도미터



3) 시설물 유지관리 현황

- 취수 및 송수설비 역시 자동화되어 있지 않아 운전자의 현장 판단에 의한 수동 조작이 일반적이며, 이는 운영의 안정성과 효율성 저하를 초래하고 있다. 설비들은 전반적으로 노후화된 상태로, 교체보다는 유지보수를 통해 운영을 지속하고 있어 에너지 손실 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하는 추세이다.

- 비슈케크시의 정수장과 배수지는 대부분 소규모 인력(정수장당 2명: 경비 1명, 운전근무자 1명)에 의해 현장 수동 운영되고 있으며, 자동화 수준이 매우 낮다.

- 2024년 현재, 연간 10km의 노후 배관 교체, 1,700건의 사고 대응, 4,000건 이상의 펌프 장비 수리, 500개 관정 청소 등이 수행되고 있으며, 소화전 및 밸브 정비, 정수장 세척, 관정 필터 세척 등의 작업도 정기적으로 진행한다. 그러나 일부 긴급보수는 중장비와 특수장비를 동원해야 할 만큼 대형화되고 있어, 선제적 예방정비 체계와 설비 자동화 도입이 시급한 상황이다.

[그림 2-4] Bishkek City의 상수도시설 유지관리



4) 수질 분석 및 관리 현황

- 현재 비슈케크시의 정수장에서는 염소 소독만을 시행한 후 별도 고도처리 없이 수돗물을 공급하고 있으며, 지하수 수질에 대한 상시 분석 시스템은 구축되어 있지 않은 상태이다.
 - 대부분의 수질 감시는 일부 시설에서 수동으로 수행되고 있으며, 자동 수질 측정 센서, 실시간 모니터링 체계, 수질 데이터 통합 관리 시스템 등은 아직 도입되지 않았다. 특히, 기후 변화나 주변 오염원에 의해 지하수 수질이 변동될 가능성이 있음에도, 이에 대응할 수 있는 선제적 관리 시스템은 미비한 상황이다.

[그림 2-5] 키르기스공화국 상수도 설비 현황



- 현지 전문가 보고서에 포함된 현지 운영기관(BVK) 및 지정 실험실이 2024년에 수행한 수질 검사 결과에 따르면, 일부 구역에서 국가 기준 및 WHO 가이드라인을 초과하는 항목이 확인되었다. 2024년 총 6,454건의 시료가 채취되었고, 세균성 분석 30,502건, 화학 분석 41,589건이 수행되었으며, 이 중 2024년 7월 11일 노보파블롭카 지역 시료에서 질산성질소가 55.0mg/L로 최대 허용치(45mg/L)를 초과했고, 총 대장균 및 내열성 대장균이 100mL 당 각 9개 검출되었다(기준: 불검출)(BVK 수질검사 결과 보고서, 2024, 질산성질소: ≤ 45mg/L / 6가크롬: ≤ 0.05mg/L / 총 대장균/내열성 대장균: 불검출(100mL당)).
- 이는 현재의 수질 관리 체계로는 공공보건 위험을 조기에 인지하거나 차단하기 어려운 구조임을 보여주며, 향후 수질 자동 모니터링 시스템 및 실시간 감시 플랫폼 도입이 필수적이다.

5) 물 공급 에너지 관리 현황

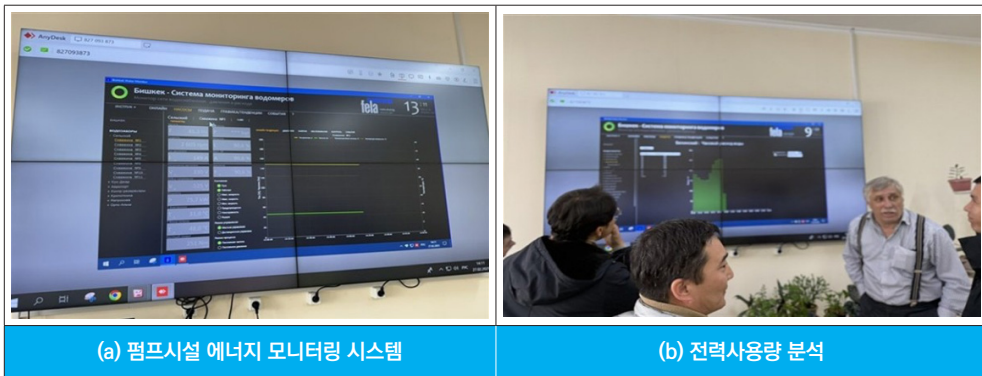
- 비슈케크시의 정수장 중 약 절반 이상이 펌프 가압 방식으로 수돗물을 공급하고 있어, 전력 소비량이 매우 높은 구조이다. 그러나 현재까지는 에너지 효율을 고려한 제어 시스템이나

운전 최적화 소프트웨어가 적용되지 않았으며, 대부분 경험 기반의 정량 제어 방식에 의존하고 있어 운영 에너지 비용 절감의 잠재 여지가 크다.

- 실제 전력 소비량

- 2024년 기준, 취수장 전체의 연간 전력 소비량은 125,957,567kWh, 가압 펌프장은 9,248,524kWh를 기록
- 2025년 1~4월 누적 기준으로도 취수장 전력 사용량은 39,657,211kWh, 가압 펌프장은 3,108,971kWh에 달하며, 이러한 추세는 연간 에너지 비용 부담이 지속적으로 증가하고 있음을 시사
- 정밀 계측 기반의 에너지 분석, 부하관리 시스템 구축, 고효율 펌프 도입, 에너지관리 시스템(EMS) 도입 등의 종합적 대응이 필요하다.
- 전기요금 단가도 해마다 상승하고 있으며, 2025년부터는 중장기 전력요금 정책(2025-2030)에 따라 산업용 요금이 단계적으로 인상될 예정이어서, 에너지 비용 절감 방안 마련이 더욱 시급하다.

[그림 2-6] Bishkek City의 에너지 관리 현황

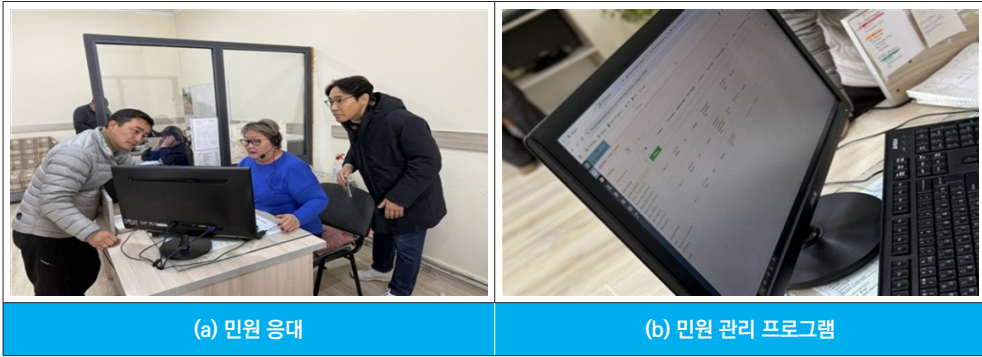


6) 민원 및 고객 관리 현황

- BVK의 콜센터 및 민원 접수 데이터에 대한 정량 통계는 본 보고서 작성 시점에 확보되지 않았다. 다만 BVK 담당자 인터뷰에 따르면 민원 처리는 고객센터를 통해 수동적으로 접수·응대하는 방식이며, 최근 2년간 주요 민원 유형은 누수, 단수, 수질, 요금 순으로 빈발하고 있고, 별도의 통합 고객관리시스템(CRM)은 구축되어 있지 않다. 정기적인 고객 만족도 조사나 불만 원인 분석 시스템도 부재한 상태이다.

- 상수도 문제 발생 시 고객과의 정보 공유 채널(예: 실시간 문자 알림, 모바일 앱)도 없으며, 이는 서비스 신뢰도 및 시민 만족도 저하로 이어질 수 있다. 고객 접점 강화를 위한 디지털 민원 처리 체계 구축이 필요한 상황이다. 향후 DMA 시범구역과 일반구역을 비교하는 설문 조사를 도입하는 것이 권장된다.

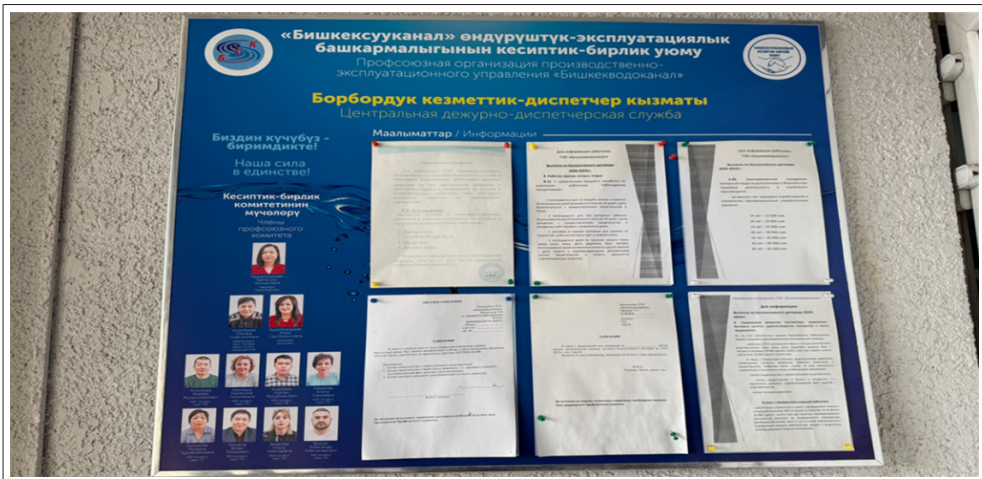
[그림 2-7] 비슈케크시의 상수도 민원



(a) 민원 응대

(b) 민원 관리 프로그램

[그림 2-8] BVK의 직원 조직도 및 공지 게시판



7) 요금 시스템 현황

- 비슈케크시의 수도요금은 생산원가 \$0.16(14숨)/ m^3 보다 낮은 \$0.11(10숨)/ m^3 로 설정되어 있어, 운영기관의 재정 손실이 지속적으로 누적되고 있다. 가정용 수도 요금 부과 방식은 크게 두 가지로 구분된다:
 - 일반 주택: 수도미터 미설치 상태이며, 1인당 1일 350리터 사용량을 기준으로 정액요금 부과
 - 아파트: 단지별 수도미터 및 세대별 수도미터에 따라 사용량 기반으로 요금 부과

〈표 2-6〉 Bishkek City의 수도요금(2023년 기준)

주민(개인 가구)	법인	예산기관
\$0.12(10.45숨)/m ³	\$0.21(18.5숨)/m ³	\$0.15(12.95숨)/m ³

- 정액요금 체계는 실제 사용량 파악이 불가능하고, 비효율적인 물 사용과 무수수량(NRW) 증가의 주요 원인으로 작용하고 있다.
 - 수도미터 보급률이 낮고, 특히 개별 주택의 요금 부과는 실제 소비량과 무관한 정액방식으로 이뤄지고 있어, 요금 체계의 공정성과 수익 기반 확보에 큰 장애 요인이 되고 있다.
 - 따라서 일반 주택에 대한 수도미터 설치 확대 및 사용량 기반의 요금체계 전환이 시급하며, 중장기적으로는 스마트 수도미터 도입과 AMI 시스템 연계를 통해 효율적 요금 관리 체계를 구축할 필요가 있다.

8) 스마트 기술 도입 현황

- 비슈케크시의 상수도 시스템에 적용된 스마트 기술 도입 수준은 매우 제한적이다. 2015년 일부 정수장에 데이터 로거(Data Logger)가 설치되어 유량 및 수압 데이터를 부분적으로 수집하고 있으나, 이는 실시간 모니터링이나 자동 제어에는 활용되지 않고 있다. 정수장 유출 지점에는 유량계가 설치되어 있으나, 여전히 하루 2회 관리자 수동 측정 및 보고 방식으로 운영되고 있다.
- SCADA 시스템(FELA)와 GIS 시스템(ZuluGIS)은 일부 도입되었으며, ZuluGIS Mobile(모바일 GIS 앱)과 ZuluServer(웹 기반 GIS 플랫폼)도 함께 운용되고 있으나, 실질적인 운영 범위는 초기 단계 수준에 머물러 있다.
 - 수도망 압력센서는 18개 지점에만 제한적으로 설치되어 있어, 도시 전역의 실시간 운영정보 확보에는 한계가 있다.
 - 또한, 스마트 수도미터, 지하수 수위 및 수질 센서, 원격 감시제어(예: AMI, IoT 기반 모니터링) 등은 전혀 도입되어 있지 않으며, 디지털 운영 인프라와 조직 역량 역시 미흡한 상태이다.
- 향후에는 스마트 물관리 플랫폼을 구축하여 설비 자동제어, 실시간 수질·수량 모니터링, 계량 정보 디지털화, 운영 데이터 통합 및 분석 등을 통해 운영 효율성 및 서비스 신뢰성을 크게 향상시킬 필요가 있다.

[그림 2-9] 비슈케크시의 상수도 시설 운영관리 시스템



(a) 배수지 모니터링 시스템

(b) 취수장 모니터링 시스템

9) 총평

- 스마트 기술 도입과 함께 요금 개편, 고객관리 체계 정비, 에너지 효율화, 설비 현대화 등을 종합적으로 추진하여 미래 급수 안정성과 서비스 질의 향상 모색이 필요하다.
 - 비슈케크시의 상수도 운영은 물리적 기반은 갖추고 있으나, 전체적으로 시설 노후화, 자동화 부족, 요금 시스템 비효율, 에너지 낭비, 수질정보 부족 등의 문제로 인해 지속가능성이 낮은 상황이다.

다. 비슈케크시 상수도 시스템의 디지털 전환 장애 요소

1) 기술적 장애 요소

- 비슈케크시의 상수도 시설은 대부분이 1990년대 이전에 구축된 노후 기반시설로 구성되어 있으며, 스마트 기술과 연계하기 위한 센서, 통신 인프라, 자동제어 장치 등이 거의 갖추어져 있지 않다.
 - 기존 설비는 SCADA(원격감시제어시스템)나 IoT 기반 기술과 호환되지 않는 구조이며, 현장 운전은 수동 제어에 의존하고 있어 실시간 데이터 수집이나 자동분석이 불가능한 상황이다.
 - 또한, 정수장 및 배수지의 분산형 구조는 센서 네트워크 및 통합 데이터 플랫폼 구축을 어렵게 만들고 있으며, 운영 인력의 디지털 역량 부족도 기술 수용성을 저해하는 요인 중 하나로 작용하고 있다.

2) 재정적 장애 요소

- 비슈케크시의 수도요금은 현재 생산원가보다 낮은 수준(\$0.11(10숨)/m³)으로 책정되어 있어, 운영기관의 수익성이 매우 낮고 자본투자 여력이 부족하다. 특히, 가정용

관로 사고는 약 1,700건에 달하며, 주된 원인은 부식, 조인트 이탈, 밸브 노후이다(BVK 운영데이터, 2024).

- 데이터 수집 측면에서, SCADA(Fela)를 통해 취수장·정수장 유량과 출구 압력을 실시간(1분 간격)으로 모니터링하고 있으나, 배·급수망 압력 계측은 P-Mac 센서 18지점에 국한된다.(BVK SCADA 운영기록, 2024) DMA 유량계 설치율은 2% 미만이며, 수질검사 데이터는 연간 수만 건이 축적되지만 대부분 수동 입력·관리되고 있다.
- 이와 같이, 물리적 인프라의 노후도와 데이터 계측망의 부족, 데이터 표준화·품질관리 부재는 스마트 물관리 도입의 핵심 전제조건을 충족시키지 못하는 주요 요인으로 파악된다. 따라서 향후 로드맵 실행의 전제조건으로 ▲노후 관로 단계적 교체, ▲압력·유량계측망 확충, ▲데이터 표준화·품질관리 체계 확립, ▲통합 데이터 플랫폼 구축이 선행되어야 한다.

2) 디지털 전환을 위한 핵심 기술 검토

- 비슈케크시는 이미 데이터 로거, 유량계 등의 일부 스마트 요소가 도입되어 있으나, 실시간 제어와 고도화된 분석 기능은 미흡한 수준이다. 비슈케크시의 단순하고 집중화된 공급 구조는 위 기술들을 점진적으로 도입하는 데 유리한 조건이며, 단계적 구축이 가능하다는 점에서 실현 가능성이 높다. 디지털 전환을 위해 필요한 핵심 기술은 다음과 같다.

〈표 2-7〉 Bishkek City의 수도시설 디지털 전환을 위한 주요 기술

관련 기술	내용
SCADA	• 펌프, 밸브, 정수공정의 실시간 제어를 통해 에너지 절감과 운영 효율성을 확보할 수 있으며, 통합관제센터와 연계해 긴급 상황에도 신속 대응이 가능하다.
스마트 수도미터 및 AMI 시스템	• 사용량 기반 요금체계 전환을 위한 기반 기술로, 누수 탐지 및 수요 예측 기능까지 포함할 수 있다.
AI 기반 운영 기술	• 누수 탐지, 펌프 효율 최적화, 수질 자동관리 등을 위한 딥러닝 및 강화학습 알고리즘 도입이 가능하며, 이는 고장 예측과 에너지 최적화를 동시에 달성할 수 있다.
IoT 기반 센서 및 분석 플랫폼	• 유량, 수압, 수위, 수질 등 다양한 데이터를 실시간으로 수집하고 이를 기반으로 수자원 상태를 예측 및 경보할 수 있다.

3) 기존 시스템과의 통합 가능성

- 비슈케크시는 이미 23개 정수장, 337개 심정펌프, 50개 배수지 등 기초적인 공급 인프라를 갖추고 있으며, 수요처 또한 대부분 도시지역에 집중되어 있어 시스템 간 통합이 기술적으로 비교적 용이하다.

- 기존 유량계 및 일부 데이터 로거는 SCADA 및 AI 플랫폼과의 상호 운용성이 확보될 수 있도록 설계 가능하며, 이는 장기적으로는 GIS, 고객요금 시스템, 에너지 관리 시스템과의 연계로 확장할 수 있다.
- 또한, 단계적 적용 전략(예: 우선 고장율이 높은 지역부터 스마트 수도미터 도입, 고압 구간부터 AI 누수 진단 적용 등)을 취하면 시설 전면 교체 없이도 디지털 전환을 효율적으로 추진할 수 있다.
- 비슈케크 수도공사(BVK) 및 추이 물관리국(Chüy Water Management Office) 등의 조직은 디지털 운영 체계 수용 기반이 마련되어 있으며, 이를 통해 중앙통제 및 지역 운영 간 연결 고리를 형성할 수 있다.

4) 초기 투자 비용과 경제적 타당성

- 스마트 물관리 전환에는 초기 구축비용이 요구되지만, 단계적 도입 전략과 국제 지원 활용을 통해 투자 리스크를 줄이고 수익성을 확보할 수 있다.
 - 예시로 제시할 수 있는 50,000가구 대상 NRW 저감 스마트 프로젝트의 경우:
 - 총사업비: 약 2,000만 USD
 - 연간 절감효과: 물 절약 2,550,000m³, 전력 절감 2,491,125 kWh, CO₂ 배출 저감 1,121톤
 - 이러한 수치는 비슈케크시 전체(150만 명, 약 50만 가구)를 대상으로 확대 적용할 경우, 매우 큰 물-에너지 비용 절감 효과와 탄소 저감 효과가 기대된다.
- 또한, GCF, ADB, EBRD 등의 국제기구에서 디지털 물관리 시스템과 기후 적응형 인프라에 대해 융자 및 보조금 형태의 자금 지원을 활발히 제공하고 있다는 점은 경제적 타당성을 더욱 높여주는 요소이다.

5) 결론

- 비슈케크시는 이미 상수도 인프라의 기본 구조를 보유하고 있으며, 단순화된 정수 처리 체계와 집중된 공급망 덕분에 스마트 물관리 체계로의 전환 잠재력이 크다. SCADA, 스마트 수도미터, AI 기반 운영 기술은 국제적으로 검증된 사례가 존재하며, 비슈케크시의 물관리 특성에 맞춰 맞춤형으로 도입할 수 있다. 기존 설비와의 연계가 가능하고, 시범사업을 통한 실증 및 단계적 확산을 통해 전환 과정의 위험을 효과적으로 줄일 수 있다.

- 특히 에너지 효율 향상, 누수 저감, 요금 체계 개선으로 이어지는 경제적 이점과 기후변화 대응 역량 강화는 비슈케크시가 디지털 전환을 추진해야 하는 강력한 이유가 된다. 이를 통해 시민들에게 더 높은 수준의 서비스를 제공함과 동시에 지속가능한물관리 체계를 구축하는 두 가지 목표를 함께 달성할 수 있다.

3. 오쉬시 도시 상수도 관리 현황 평가

가. 오쉬시 물관리 및 거버넌스 구조

1) 행정적 지위 및 조직

- 오쉬시는 키르기스공화국 제2의 도시로, 도시 수준에서 직접 관리되는 지역(state importance)이며, 오쉬주에 속하지 않고 독립적으로 운영되는 구조이다.
- 시장(mayor)이 도시를 총괄하며, 도시 산하에 11개 부속 마을을 포함해 관리한다.

2) 물관리 거버넌스 구조:

- 오쉬 유역수 관리청(BWMA): 'Osh Basin Water Management Administration'이라는 기관이 존재한다. 이는 '물관리 및 토지개량국(Department of Water Management and Land Reclamation)'의 하위 기관로 운영되며, 상수 및 수자원 관련 업무를 담당한다.
- Oshvodocanal은 공공 수도 사업자, 즉 워터 유틸리티이다. 오쉬 지역에 상수도를 공급하는 핵심 주체이며 정수 및 수질을 전담으로 관리하며 수도요금으로 O&M(운영 유지관리) 비용을 충분히 감당하여 시로부터 적은 비용의 지원만 받아 운영 가능한 상태이다.
- 지자체 및 지역 협의체: SIWI(스톡홀름 국제 물연구소)의 GoAL WASH 프로그램을 통해, 오쉬 지역 내 4개 지역형 Drinking Water & Sanitation 유닛(CDWUUs)의 역량이 강화되었으며, 지역 주민과의 보고체계도 개선되고 있다. 이는 지역 단위 물 공급체계의 자율성과 투명성을 제고하는 역할을 수행한다.

나. 오쉬시 물관리 정책 및 법·제도 분석

1) 제도적 기반

- 오쉬시는 세계은행 지원 농촌 상수도·위생 보편 접근 프로그램(WSS UAP) 대상 지역으로 확인되었다. 이에 따르면 전국 차원의 자산 등록부나 사업자 성과 벤치마킹 체계가 부재하고, 거버넌스·보고·책임체계 표준화가 필요하다고 지적된다.

2) 수원 보호와 재조림

- 오쉬 지역은 단순한 급수체계 확충뿐 아니라 수원 보호 및 대수층 재충전을 위한 재조림을 병행 목표로 설정하고 있다. 이는 지하수 의존도가 높은 농촌 지역에서 장기적인 수자원

확보와 수질 보전을 동시에 달성하기 위한 전략이다. 특히, 기후 변화와 계절별 수량 변동이 심화되는 상황에서 산림 복원·식생 회복을 통한 함양량 증대는 지역 상수도 지속 가능성의 핵심 요소로 제시되고 있다. 이러한 활동은 단기적으로는 사업 범위 내 일부 지역에 적용되지만, 향후에는 다른 마을과 유역 단위로 확대될 필요가 있다.

다. 오쉬시 상수도 시설 운영관리 현황

1) 정수처리 시스템 현황

- 오쉬시는 지하수와 지표수를 활용하나, 강우 시 원수 탁도가 평상시 3-5 NTU에서 50-100 NTU까지 상승해 정수처리에 큰 부담이 된다. 이는 국가 기준(5 NTU 이하)을 크게 초과하며, 단순 염소 소독·침전 위주의 기존 공정으로는 대응이 어렵다.
- 이로 인해 공급 중단이나 탁도 기준 초과 급수가 발생하기도 하며, 운영기관은 응집·침전 강화, 막여과 등 고도처리 도입을 검토 중이다. 일부 지하수 취수정도 강우 시 20-30 NTU까지 상승해 수원 보호와 재조립, 토양 유실 방지 등 유역 차원의 대응도 병행이 필요하다.

2) 수돗물 공급 시스템 현황

- 인프라 목표로 109개 마을·소도시 급수체계 구축, 배·송수 네트워크 업그레이드, 36개 미서비스 정착지 신규 급수시스템 설치가 제시되어 있다. 반면, 설계 지연·비효율적 배치·비용 초과가 지역 엔지니어링 역량 한계로 빈발한다.

[그림 2-10] 오쉬시의 정수관련 시설물



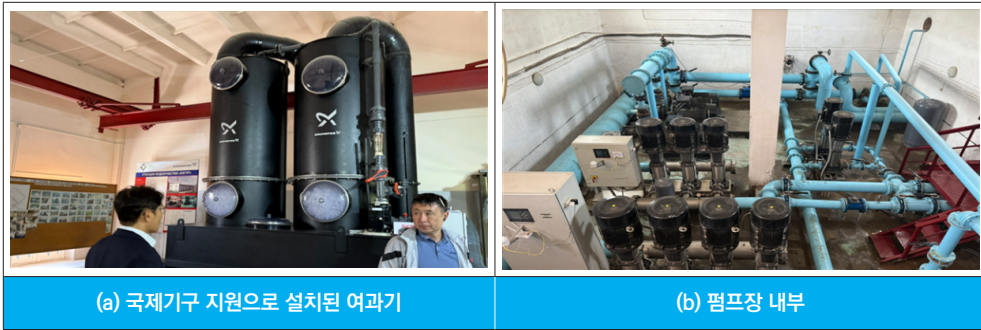
3) 시설물 유지 관리 현황

- 대부분의 정비는 임시적(Ad-hoc) 방식으로 이루어지며, 문제 발생 시 사후 대응에 의존하는 경우가 많다. 특히 숙련된 기술자의 부족과 예비 부품의 재고 미비로 인해,

펌프·밸브·염소 투입기 등 핵심 설비고장 시 신속한 수리가 어려워 장기간 방치되거나 임시 조치로 대체되는 사례가 반복된다.

- 국제기구의 지원을 통해 일부 장비 교체와 운영인력 단기 교육이 이루어지고 있으나, 이는 제한적인 범위에 그치고 있다. 특히 예방 정비 체계 도입, 예비부품 공급망 확보, 중장기적 인력 역량 강화 프로그램, 운영·자산 관리용 디지털 시스템 구축 등은 여전히 추가적인 지원이 필요한 분야로 지적된다. 따라서 단순 장비 보급 수준을 넘어, 지속 가능한 유지관리 체계 구축을 위한 국제적·국가적 협력이 필수적이다.

[그림 2-11] 정수장내 수질관리 연구소 내



(a) 국제기구 지원으로 설치된 여과기

(b) 펌프장 내부

4) 수질 분석 및 관리 현황

- 오쉬시의 정수장들은 자동화된 수질 분석 시스템이 전혀 갖추어져 있지 않으며, 각 정수장마다 배치된 직원이 수질을 직접 관리하고 있다. 수질 검사는 주로 소규모 연구실에서 수동 방식으로 이루어지며, 탁도·잔류염소·기본 화학성분 분석 등이 실시된다. 모든 데이터는 수기 기록으로 관리되어, 장기적인 데이터 축적·분석이나 실시간 모니터링은 사실상 불가능하다. 따라서 이상치 발생이나 오염사고의 조기 대응이 어렵고, 디지털 기반의 수질 모니터링 시스템 도입 필요성이 지속적으로 제기되고 있다.

[그림 2-12] 정수장내 수질관리 현황



(a) 탁도계

(b) 수질 상태 수기 점검

5) 요금 시스템 현황

- 오쉬시를 포함한 농촌 지역의 수도요금은 저요금 또는 정액요금 형태가 일반적이며, 요금 징수 또한 체계적으로 이루어지지 못한다. 수도미터 보급률은 낮고, 사용량 기반의 요금 부과가 사실상 불가능하다. 다만 최근 조사에 따르면, 스마트 수도미터 도입이 진행 중이며 보급률은 전체 수용가의 약 15~20% 수준으로 파악되었다.
- 검침원이 직접 방문해 검침하는 방식은 종종 수용가와 마찰을 일으키거나, 부정확한 검침(비청렴·오검침) 문제가 발생한다. 이 때문에 현지에서는 스마트 수도미터의 확산을 선호하고 있으며, 이는 요금 부과의 신뢰성과 투명성을 높이는 중요한 수단으로 인식되고 있다.

6) 스마트 기술 도입 현황

- 오쉬시의 농촌 상수도는 실시간 계측과 디지털 제어가 거의 없으며, 일부 시설에서만 유량과 수압을 제한적으로 모니터링하고 있다. 그러나 이는 초기 단계 수준에 불과해, 향후에는 수질·수량을 포함한 통합 스마트 모니터링 체계 도입이 필수적이다.

라. 오쉬시 상수도 시스템의 디지털 전환 장애 요소

1) 기술적 장애 요소

- 수리모델링, 정수기술, GIS를 활용한 설계 및 운영 역량이 부족하여 장기적인 계획 수립이 어렵다. 또한 대부분의 급수체계에는 실시간 모니터링이나 디지털 제어 장치가 설치되어 있지 않고, 센서나 통신 인프라 역시 거의 마련되지 않았다. 이로 인해 급수 상황에 대한 즉각적 대응이나 데이터 기반의 효율적 운영이 불가능하다. 더불어 전문 운영인력 부족과 예비부품 관리체계 미비는 고장 발생 시 장기간 방치나 임시조치로 이어지는 경우가 많아 시스템 안정성을 크게 저해한다.

2) 재정적 장애 요소

- 재정 측면에서도 심각한 제약이 존재한다. 오쉬시의 수도요금은 저요금 또는 정액요금 형태로 운영되고 있어 실제 운영원가를 회수하기 어렵다. 징수 체계 또한 미흡하여 재정 손실이 누적되고 있으며, 이로 인해 O&M(운영·유지관리) 비용이나 노후 시설 교체비를 충당할 수 있는 안정적 자원 마련이 불가능하다. 예비비나 긴급 상황에 대비한 재정 준비금도 사실상 부재하여, 장기적 관점에서의 설비 현대화나 디지털 전환을 자체 예산으로 추진하기 어려운 구조이다.

3) 규제적 장애 요소

- 국가 차원의 자산 등록부가 존재하지 않고, 수도사업자의 성과를 정기적으로 평가·비교할 수 있는 벤치마킹 체계도 마련되지 않았다. 또한 거버넌스와 보고, 책임체계가 표준화되지 않아 상수도 관리의 투명성과 효율성이 떨어진다. 이러한 제도적 공백은 디지털 전환 과정에서 필요한 법적 근거와 규제 정비를 지연시키는 주요 원인으로 작용한다.

4) 요약

- 결국 오쉬시의 상수도 시스템은 기술적 역량 부족, 재정적 취약성, 제도적 미비가 동시에 나타나고 있다. 설계·운영 능력의 한계, 요금 체계와 징수 구조의 불안정성, 제도적 기반의 결여는 상호 연계되어 디지털 전환을 추진하는 데 가장 큰 장애 요소로 작용하고 있다.

제3장

한국의 스마트 물관리(SWM) 경험 및 시사점

1. 한국의 스마트 물관리 도입 역사 및 발전 과정
2. 한국의 스마트 물관리 도입 사례 분석
3. 한국의 스마트 물관리 도입 시 직면했던 문제점
4. 키르기스공화국에 적용 가능한 한국 사례 및 시사점

한국의 스마트 물관리(SWM) 경험 및 시사점

1. 한국의 스마트 물관리 도입 역사 및 발전 과정

가. 한국의 스마트 물관리 발전 과정

- 한국의 스마트 물관리는 상수도 보급 확대와 기반 구축에서 출발하여, 점차 디지털 전환과 지능형 운영으로 발전해왔다. 1980~1990년대에는 전국적인 상수도 보급과 시설 확충이 주요 과제였으며, 관망 정비와 정수처리시설 확대, 수도미터 보급 등이 핵심적으로 추진되었다. 이 시기에는 수동적인 운영과 관리가 중심이었고, 디지털 기술의 적용은 제한적이었다.
- 2000년대 들어서는 상수도 운영에 정보화 기술이 도입되기 시작하였다. 대도시를 중심으로 SCADA(감시제어 및 데이터 수집 시스템)가 설치되었고, GIS 기반 관망 관리와 원격검침(AMR) 사업이 시범적으로 추진되었다. 이를 통해 관망 해석과 유량·수압 데이터 관리 역량이 축적되기 시작했다.
- 2010년대 중반 이후에는 본격적인 스마트화 전환이 이루어졌다. 정부는 2011년부터 2017년까지 스마트 상수도 관리 체계(Smart Water Grid) 연구개발 프로젝트를 추진하여 ICT·IoT·빅데이터 분석을 활용한 지능형 물관리 기술을 개발하였다. 전국 지자체에서는 DMA 기반의 무수익수(NRW) 관리, IoT 센서 설치, 원격 수질계측기 도입 등 스마트 물관리 시범사업이 확산되었으며, 수도물 운영관리의 디지털화가 본격적으로 추진되었다.
- 2020년대에 들어서면서 한국은 스마트 물관리의 통합적·지능형 발전 단계에 진입하였다. 2019년 환경부가 발표한 「스마트 상수도 관리 종합대책」을 통해 ICT 기반의 수도물 전주기 관리 체계가 제시되었고, AI 기반 누수 탐지, 클라우드형 운영 플랫폼, 디지털 트윈 등 첨단 기술이 상수도 운영에 적용되기 시작했다. 현재는 실시간 모니터링과 예측 제어를 통한 효율적이고 안전한 물관리 체계로 발전해가고 있다.

나. 한국 정부의 지원 정책 및 제도

- 스마트 물관리의 확산은 단순한 기술 발전만으로 이뤄진 것이 아니라, 정부의 정책적·제도적 지원이 지속적으로 병행된 결과였다. 한국은 1980년대부터 상수도 현대화와 수질 안정화 정책을 시작으로, 1990년대 이후 정보화·자동화 사업, 2000년대 이후 법제도 정비와 공공투자 확대, 2010년대 이후 디지털 혁신 전략과 국제개발협력 연계로 발전 단계를 밟아왔다.

1) 1980~1990년대: 상수도 현대화와 기초 제도 정비

- 1980년대: 산업화·도시화 확산에 따라 안정적 상수도 공급과 수질관리가 국가 정책으로 부각
 「수도법」 제정(1989) → 수돗물 공급·운영·품질 관리의 법적 근거 마련
 상수도 확충 5개년 계획 시행 → 정수장·관망 확충, 도시 상수도 보급률 제고
- 1990년대: 환경부 신설(1994) 이후, 물관리를 국가 환경 정책의 핵심 분야로 규정
 「환경정책기본법」(1990), 「수질환경보전법」(1991) 개정 → 수질오염총량제, 정수처리 고도화 근거 마련 후 광역상수도 건설사업 확대 → 지방 도시까지 수돗물 공급망 확충

2) 2000년대: 정보화·자동화 기반 확립

- 2001년: 「국가수자원관리종합계획」 수립 → 수량·수질 통합 관리 목표 제시
- 2002~2007년: 상수도 현대화사업 1단계 추진 → 노후관 정비, 유수율 개선, 유량·압력 모니터링 시스템 도입
- 2005년: 「지방상수도 현대화사업」 시작 → 노후관 교체·관망 최적화, SCADA 기반 자동화 확대
- 2006년: 「물산업진흥법」 제정 추진(후일 법제화) 논의 개시 → 물산업을 국가 신성장동력으로 육성
- 성과: 시설 기반 자동화와 초기 SCADA 보급이 확립되면서 스마트 물관리 전환의 토대가 마련됨

3) 2010년대: 스마트 물관리 정책화·법제화

- 「물관리기본법」 제정(2018): 국가 차원의 물관리 컨트롤타워 마련
- 「스마트 상수도 관리 종합대책」 발표(2019): ICT 기반 전주기 상수도 관리 전략
- 「상수도법」 개정(2020): 스마트 수도미터(AMI) 및 원격검침 법적 근거 마련
- 스마트 물관리 시범 사업 전국 확산(DMA 기반 NRW 관리, ICT·IoT 활용)

4) 2020년대: 디지털 전환·국제협력 확산

- 2020년: 「한국판 뉴딜 종합계획」 발표(디지털 인프라·그린 뉴딜 핵심 과제로 스마트 물관리 포함)
 - 광역·지방상수도 스마트 관리 체계 구축 사업 추진(총 1조 5천억 원 규모)
- 2020년 개정 「상수도법」: 스마트 수도미터(AMI) 및 원격검침 법적 근거 마련
- 2021~2025년 제4차 국제개발협력 종합기본계획: 디지털 혁신을 통한 물관리 ODA 확대
 - 탄소중립·기후변화 대응과 연계: 해외 스마트 물관리 사업(인도네시아, 베트남 등) 지원 근거 마련
- 2023년 제2차 물 관련 기술 발전 및 산업 진흥 기본계획(2024~2028): AI·IoT·디지털트윈 기반 차세대 기술 확산, 물관리 데이터 표준화·국제 인증제도 마련

〈표 3-1〉 광역상수도 스마트 관리 체계 구축 사업 개요

구분	내용
기간	2020 ~ 2023
총사업비	2,356억 원
주요 내용	• 취수원 수질 감시 시스템 구축: 조류 및 유해 물질 유입에 대한 조기 대응
	• 스마트 정수장 구축: 약품 취급 안전성과 정수처리 리스크 최소화
	• 관망 관리 시스템: 실시간 관망 감시 및 사고 대응 체계
	• 자산관리 시스템: 노후 수도시설에 대한 종합적 관리 체계 수립

〈표 3-2〉 지역상수도 스마트 관리 체계 구축 사업 개요

구분	내용		
기간	2020 ~ 2023		
총사업비	1조 3,044억 원		
주요 내용	ICT 기반의 10개 대표 기술을 구축 단계별로 구분하여 적용함		
	구분	내용	대표 기술
	1차	<ul style="list-style-type: none"> 기초자료(블록 구축 현황, 인구 규모와 급수 시설 현황) 만으로도 상수도 인프라 계획 수립이 가능한 상황 	<ul style="list-style-type: none"> IoT 수압센서, RF, 워터 코디 · 닥터 장비
	2차	<ul style="list-style-type: none"> 기존 급수체계 진단과 현장 점검을 토대로 인프라 구축 계획을 마련할 수 있는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> 소규모 유량감시, 스마트 수도미터
3차	<ul style="list-style-type: none"> 운영 데이터 확인, 민원 현황 분석, 네트워크 해석, 현장 점검 등을 종합하여 인프라 계획을 수립할 수 있는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> 재염소설비, 정밀여과장치, 수질측정장치, 관세척, 자동드레인 	

2. 한국의 스마트 물관리 도입 사례 분석

가. 원격감시제어시스템 구축을 통한 생산성 향상

- 한국의 스마트 물관리 체계는 정수장에서 수도꼭지까지 수질과 유량을 실시간으로 모니터링하고, 원격감시제어시스템을 통해 수도시설의 운영을 자동화한다. 이로써 현장 인력의 부담이 줄고, 설비의 고장이나 이상 상황을 신속하게 파악해 즉각 대응할 수 있어 생산성이 크게 향상되었다. 주요 도시의 스마트 물관리 시스템은 24시간 중앙에서 상수도망을 감시·제어하며, 사고 발생 시 신속한 조치가 가능하다.

나. 스마트 물관리 설비 도입을 통한 성능 개선

- 스마트 물관리 설비는 실시간 수질·유량 계측, 자동 배수장치, 관세척 등 첨단기술을 적용해 상수도 시스템의 성능을 높이고 있다. 스마트 상수도 시범 사업 결과, 수도물 직접 음용률이 크게 증가하는 등 수도물 신뢰도가 높아졌다. 또한, 실시간 정보 공개로 시민의 불안 해소와 서비스 만족도가 향상되었다.

다. 스마트 정수장 자율 운전을 통한 수질 개선

- 스마트 정수장은 ICT와 초연결 네트워크를 바탕으로 주요 공정(약품 투입, 여과, 배수 등)을 자동화하고, 실시간 수질 데이터를 활용해 자율 운전한다. 이에 따라 수질 사고 예방, 운영 효율화, 안정적인 수도물 공급이 가능해졌으며, 첨단기술을 활용한 안전관리도 실현되고 있다.

라. 스마트 에너지 관리를 통한 물 공급 에너지 절감

- 상수도시설의 펌프, 송수관 등 주요 설비에 스마트 에너지 관리 시스템을 적용해 에너지 사용량을 최적화한다. 실시간 데이터 분석으로 불필요한 설비 가동을 줄이고, 에너지 절감 및 온실가스 감축 효과를 거두고 있다. 일부 스마트 정수장은 신재생에너지를 활용해 저탄소 에너지 자립 단지로 운영되고 있다.

마. 지방 상수도 현대화 및 스마트 누수 관리를 통한 누수 저감

- 지방 상수도 현대화 사업은 다양한 지역에서 우수율 대폭 향상, 연간 수백만 톤 규모 누수 저감, 수도물 생산비 절감이라는 가시적인 성과를 이루었다. 지역마다 투입 예산이나 규모, 기술 방식은 다르지만, 공통적으로 블록 시스템 도입, 노후 관로 교체, 스마트 누수 탐사관리 등 요소가 핵심이다. 주요 내용은 다음과 같다.

- 노후 상수관망 및 정수시설 정비 : 관로 교체, 정수장 설비 교체 등 물 공급 기반 강화
- 블록 시스템 구축 및 수압 관리 : 급수구역을 블록 단위로 나누어 효율적인 누수 탐지 및 복구 가능. 수압 관리 시스템을 병행 설치
- ICT 기반 통합 운영 및 실시간 감시 : 누수 센서, 원격 모니터링 시스템, 실시간 유량·수질 감시, 설비의 자동제어(약품 주입 포함) 도입
- 통합 정보 서비스(One-Stop 서비스) : 요금, 고객 관리, 시설관리까지 통합한 시스템 운영과 24시간 콜센터, 수도물안심확인제 제공
- 사례별 주요사업 내용, 추진 기간, 추진 방식을 아래에 정리하였다.

〈표 3-3〉 지방 상수도 현대화 사업의 주요 내용과 누수저감 효과 사례

지역	기간/예산 규모	주요사업 내용	추진 방식	사업 효과
양평군	2021~2025 388억원 (국비 포함)	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 상수도 관망 정비 • 소블록 30곳 구축 • 43개소에 실시간 유량·수압 관리 시스템 • GIS 기반 관망 감시 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • 발주: 양평군 • 위탁·관리: 한국환경공단 • 시공: 금호건설 	<ul style="list-style-type: none"> • 최종 유수율 87.4%로 합격 평가 • 유수율 증가폭: 24.4%
남해군	2018, 2022~2023 278억원 (국비 50% 포함)	<ul style="list-style-type: none"> • 블록시스템 기반 관망 정비 • 노후관 45km 교체 • 실시간 누수감지 및 수압 관리 시스템 • 누수 관리 	<ul style="list-style-type: none"> • 추진: K-water 위탁 • 국책 공모사업 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 1,283건 누수 복구 • 최종 유수율 85.8%로 합격 평가
보성군	2019~2024 242억원 (국비 포함)	<ul style="list-style-type: none"> • 별교읍 회정 급수구역 • 블록시스템 기반 정비 • 노후 관로 정비 • 누수 복구 	<ul style="list-style-type: none"> • K-Water와 2019년 위·수탁 협약 체결 • 성과보증 1년 수행 후 한국상하수도협회 성과판정 '합격' 	<ul style="list-style-type: none"> • 최종 유수율 95.1% 달성 • 연간 누수량 약 101만 톤 절감 • 생산비용 연간 11억원 절감 효과
제주도	2020~2025 698억원 (국비 349억 지방비 349억) (진행중)	<ul style="list-style-type: none"> • 블록시스템 31개 구축 • 노후 관로 약 59.4km 교체 • 17개 정수장을 6개 권역 정수장으로 통합 • 실시간 누수감지 및 수압 관리 시스템 • 누수 관리 	<ul style="list-style-type: none"> • K-Water 위탁추진 	<ul style="list-style-type: none"> • 누수 탐사 및 복구 553건 • 유수율 46.2% → 84.8%(진행중) • 일 누수 3.8만 톤 감소 시 연간 약 384억원 절감 예상

- 누수 감지 센서, 음향탐지, IoT 기반 스마트 수도미터 등 첨단기술을 활용해 누수 발생 지점을 실시간으로 탐지하고 신속히 복구한다. 스마트 누수감시시스템 도입 후 유수율이 크게 향상되었고, 연간 수만 톤의 물 절약과 예산 절감 효과를 거두었다. 누수맵을 개발해 누수 위험 지역을 시각화하고, AI로 원인을 분석해 선제적으로 대응하고 있다.

바. 스마트 자산관리를 통한 유지관리 비용 절감

- 상수도관, 밸브 등 주요 자산의 상태를 센서와 빅데이터로 진단하고, 잔존수명을 예측해 적기에 보수·교체하는 생애주기 관리 체계를 도입하였다. 이로써 불필요한 유지보수 비용을 줄이고, 설비 수명을 연장하며, 사고 예방 효과도 높아졌다.

사. 스마트 성능시험을 통한 계측기 신뢰성 향상

- 스마트 수도미터와 센서의 자동 성능시험 및 원격검침 시스템을 도입해 계측기의 정확도와 신뢰성을 높였다. 실시간 데이터 수집과 자동 검증으로 오차율을 최소화하고, 사용자 불편과 민원을 줄였다.

아. 주요 성공 요인 및 교훈

- 한국의 스마트 물관리는 첨단기술을 바탕으로 신뢰성 높은 수돗물 공급, 누수 저감, 운영비 절감 등 다양한 성과를 거두며, 세계적으로도 벤치마킹 대상이 되고 있다.
 - 정책적 지원과 대규모 투자: 정부의 적극적 정책 추진과 대규모 예산 투입이 기반이 되었다.
 - ICT·빅데이터·AI 등 첨단기술 융합: 실시간 데이터, AI 분석, 디지털 트윈 등 첨단기술이 상수도 전 과정에 적용되어 운영 효율과 사고 예방 효과가 극대화되었다.
 - 시민 신뢰 회복과 서비스 혁신: 실시간 수질 정보 공개, 맞춤형 서비스로 수돗물 신뢰도가 크게 향상되었다.
 - 유지관리 비용 절감과 자산관리 혁신: 정보통신기술을 활용한 체계적 관리로 노후관 교체 중심에서 유지관리 효율화로 정책 패러다임이 전환되었다.
 - 지자체·공공기관·민간 협력: 다양한 주체의 협력과 역할 분담이 성공의 핵심이었다.

3. 한국의 스마트 물관리 도입 시 직면했던 문제점

가. 초기 도입의 기술적·재정적 도전 과제

- SWM은 ICT, IoT, AI 등 첨단기술을 접목하여 물 산업 전반의 수량·수질을 과학적으로 관리하고 운영의 효율성을 제고하기 위한 전략적 접근이다. 그러나 이러한 시스템의 한국 도입 초기에는 다양한 기술적·재정적 도전 과제가 병존하였다. 본 절에서는 한국이 스마트 물관리 시스템을 도입하는 과정에서 직면했던 기술적 및 재정적 문제점을 정리하였다.

1) 기술적 문제

가) 센서 및 핵심 기술의 국산화 미흡

- SWM의 기반이 되는 수질·수량 센서와 통신장비 등의 핵심 부품은 대부분 해외 기술에 의존하고 있으며, 특히 수질 센서 분야는 국내 기술 수준이 선진국의 약 60% 수준에 불과한 것으로 평가되었다. 이에 따라 정밀도나 신뢰성에서 국제 기준에 부합하지 못하고, 이는 전체 시스템의 성능 저하로 이어질 수 있었다.

나) 시스템 표준화 및 연계성 부족

- SWM은 다양한 기술 요소(센서, 통신망, 플랫폼, 제어 기술 등)의 통합 운용을 전제로 한다. 그러나 한국에서는 이들 기술 간의 표준화가 미비하여 장비 간 연계나 데이터 호환에 어려움을 겪었다. 이에 따라 하나의 시스템으로써의 통합성과 확장성 확보에 한계가 나타났으며, 이는 유지관리 및 고도화에도 장애 요인으로 작용하였다.

다) 운영 인력 및 기술 역량 부족

- SWM은 고도화된 기술 기반의 운영이 요구되나, 지방자치단체나 중소기업 수도사업자에서는 관련 인력과 기술 축적이 부족하여 도입 이후 안정적인 운영에 어려움을 겪는 사례가 빈번히 발생하였다. 이에 따라 시스템이 제 기능을 발휘하지 못하거나 유지관리 비용이 증가하는 부작용도 나타났다.

라) 수요자 중심 설계 미흡

- SWM은 주로 공급자 중심(정부, 수자원 공기업 등)으로 개발되었기 때문에 사용자 편의성이나 수요자 요구가 충분히 반영되지 못하였다. 이에 따라 실제 서비스 활용률이나 시민 체감 만족도가 낮아지는 현상이 일부 지역에서 관찰되었으며, 이는 시민 수용성 저하로 이어질 수 있는 요인으로 작용하였다.

2) 재정적 문제

가) 높은 초기 투자 비용

- SWM은 대규모 인프라 구축이 수반되는 사업으로, 스마트 수도미터, 무선통신망, 서버 및 통합관제시스템 등 초기 설치비용이 상당히 크다. 특히 중소규모 지자체에서는 이를 자체 예산으로 충당하기 어려워 사업 추진에 난항을 겪었으며, 이는 스마트 시스템의 지역 간 격차로 이어지는 결과를 낳기도 하였다.

나) 운영·유지관리 비용 부담

- SWM 도입 이후에도 지속적인 통신 요금, 소프트웨어 업데이트, 장비 유지보수, 전문 인력 운영 등 다양한 비용이 발생한다. 기존 물 요금 체계가 이러한 추가 비용을 충당하기에 부족한 경우가 많아, 장기적으로 시스템이 방치되거나 성능이 저하되는 문제도 발생하였다.

다) 요금 체계와 경제적 편익 간 괴리

- SWM을 통해 누수 저감, 에너지 절감 등의 편익이 발생하더라도, 이는 현행 물 사용요금 체계에 즉각적으로 반영되지 않아 시민에게 실질적인 인센티브로 작용하지 못하는 한계가 있었다. 이에 따라 수요 측면의 참여를 유도하는 데에도 한계가 존재하였다.

3) 소결

- 한국의 SWM 도입 과정은 첨단기술 기반의 물관리 패러다임 전환이라는 측면에서 큰 의미를 갖지만, 실질적 구현 과정에서 기술적·재정적 장애 요인이 복합적으로 작용하였다. 향후 이러한 문제를 극복하기 위해 다음과 같은 기술 개발을 지속적으로 수행하고 있다.
 - 핵심 부품 및 센서의 국산화 및 기술 자립 강화
 - ICT 요소 기술의 상호운용성 확보를 위한 국가 차원의 표준화 추진
 - 중소 지자체에 대한 정부 차원의 재정 지원 및 기술 컨설팅 확대
 - 시민 중심의 사용자 인터페이스 설계 및 실효성 있는 요금 체계 개편
- 한국에서는 SWM이 지속 가능한 물복지 구현과 물 산업 경쟁력 확보를 위한 전략으로 기능하기 위해서는 기술 고도화와 함께 제도적, 재정적 기반을 병행하여 구축하는 종합적 접근방식을 취하고 있다.

나. 시민 수용성 및 이해관계자 협력 문제

- SWM은 4차 산업 기술을 기반으로 물 관리의 효율성과 지속가능성을 높이는 미래지향적 관리 방식이다. 그러나 이러한 시스템이 실효를 거두기 위해서는 기술적 요소뿐 아니라 정책 수용성과 거버넌스, 이해관계자 간 협력 기반이 필수적이다. 본 절에서는 한국이 스마트 물관리 시스템을 도입하는 과정에서 시민 수용성과 이해관계자 협력 측면에서 직면한 문제점을 정리하였다.

1) 시민 수용성

가) 소비자 참여의 제약

- 스마트 물관리(SWM)는 K-water 등 일부 공공기관 주도로 시범적으로 시행되었으나, 일반 시민의 참여는 매우 제한적이었다. 사용자의 입장에서 시스템의 혜택이나 정보를 충분히 체감하거나 접근할 수 있는 구조가 미흡하여 수용성이 낮은 결과를 초래했다.

나) 사용자 중심 정보 전달 부족

- 스마트 물관리 앱이나 플랫폼은 주로 공급자 관점에서 설계되어 시민이 체감할 수 있는 형태의 서비스로 전환되지 못하였다. 일방향적 정보 제공 방식에서 벗어나 시민의 수요를 반영한 맞춤형 정보 제공 체계의 부재는 사용자 만족도 저하로 이어졌다(KEI, 2016).

다) 수요자 관점 반영 부족

- 스마트 물관리 기술의 도입 목적은 물의 효율적 공급과 관리에 있지만, 시민이 직접적으로 느낄 수 있는 ‘서비스 향상’과 ‘경제적 이득’이 명확히 전달되지 않았다. 이에 따라 요금 인상에 대한 거부감이나 무관심이 나타났으며, 제도적 전환에 대한 사회적 저항도 발생하였다.

2) 이해관계자 협력

가) 거버넌스 참여 부족

- 기존의 물 관리 구조는 정부 주도형이며, 시민사회 및 민간 부문의 참여는 제한적이었다. 물값심의위원회 등 의사결정 기구에도 다양한 이해관계자의 참여가 보장되지 않아 정책의 대표성과 책임성이 떨어지는 구조적 한계가 존재했다.

나) 중앙-지방 간 정책 일관성 부족

- 스마트 물관리 시스템은 일부 위수탁 방식으로 추진되었으나, 지자체의 역량 차이와 정책 목표의 불일치로 인해 사업 추진 및 확산에 어려움이 존재했다. 특히, 지자체 간 상이한 인프라 상황과 재정 여건은 사업 간 형평성 문제를 유발하였다.

다) 부처 간 협력 미비

- 당시 환경부와 국토교통부 등 물관리 유관 부처 간의 역할 분담이 명확하지 않고, 전략 및 추진 체계가 분절적으로 운영되어 정책의 일관성과 효율성이 저해되었다. 이는 이해관계자 간 신뢰 형성 및 지속 가능한 협력체계 구축에 부정적 영향을 주었다.

3) 소결

- 한국의 SWM 정책은 지난 수년간 SCADA, 스마트 수도미터, AI 기반 플랫폼 등 기술적 기반을 구축하는 데 있어 일정한 성과를 거두었다. 그러나 시민의 수용성 확보, 다양한 이해관계자 간 협력, 지역 간 불균형 해소와 같은 사회적·제도적 기반에서는 여전히 많은 도전과제가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 한국은 다음과 같은 노력을 기울이고 있다.
 - 사용자 중심 서비스 설계 : 시민 수요와 생활 패턴을 반영한 서비스 제공, 실시간 피드백 구조 강화, 고객 맞춤형 요금제 도입
 - 협력적 거버넌스 체계 : 지역사회, 민간기업, 시민단체가 함께 참여하는 공론의 장 마련, 정책 수립과 집행 과정의 투명성 확보
 - 정책 정합성 제고 : 지자체 간 역량 차이를 고려한 맞춤형 지원과 중앙-지방 간 정책 조율을 강화하여 제도적 불균형 해소
 - 제도적 신뢰 기반 확립 : 물 관련 의사결정 기구의 대표성과 투명성 제고, 데이터와 정책 정보의 개방 확대를 통한 사회적 신뢰 형성
 - 지속가능성 확보를 위한 교육과 역량 강화 : 지자체 담당자와 시민을 대상으로 한 디지털 역량 교육, 전문인력 양성 프로그램 운영
- 아울러, 스마트 물관리의 기술적 효율성이 실질적·지속 가능한 성과로 이어지기 위해서는 단순한 기술 도입을 넘어, 시민과 이해관계자의 적극적인 참여와 협력이 핵심 조건임을 정책적으로 인식하고 있다. 따라서 정부는 단기적 성과 중심에서 벗어나, 기후변화

대응·탄소중립 기여·사회적 형평성 보장을 포괄하는 장기적 비전 속에서 SWM 정책을 재정비하고 있다.

- 더 나아가, 한국은 국제적으로도 스마트 물관리 경험을 개도국 ODA 및 글로벌 협력 모델로 확산하려는 움직임을 보이고 있다. 이는 기술적 성취뿐 아니라, 사회적 합의와 제도적 설계의 경험을 해외에 공유하는 데 초점을 두고 있으며, 궁극적으로는 국내 정책 발전과 국제 기여를 동시에 달성하는 이중 목표를 지향한다.

다. 법·제도 개선을 통한 해결 방안

- SWM은 ICT, IoT, 빅데이터, 인공지능 등 디지털 혁신 기술을 물관리 전반에 적용함으로써 물 자원의 효율성과 안전성을 제고하는 미래형 시스템이다. 그러나 이러한 기술 기반의 관리 시스템을 도입하기 위해서는 기존의 제도적 기반을 넘어서 새로운 법적·제도적 정비가 필수적으로 요구된다. 본 절에서는 한국에서 스마트 물관리 도입 시 직면한 제도적 문제를 극복하기 위해 이루어진 법률 제정과 개별 법령 개선 사례를 정리하였다.

1) 주요 제도 개선 사례

가) 「물관리기본법」 제정과 통합 물관리 기반 마련

- 2018년 제정된 「물관리기본법」은 기존의 분절적 물관리 체계를 일원화하고, 수량·수질을 통합적으로 관리하는 체계를 제도적으로 확립하였다. 이 법은 스마트 물관리 시스템 도입에 있어 다음과 같은 기반을 제공하였다.
 - 유역 단위 물관리 거버넌스 기반 확립
 - 국가물관리기본계획, 유역물관리종합계획 수립 근거 마련
 - 스마트 상하수도 등 디지털 기반 물관리 체계에 대한 정책적 방향

나) 「물산업진흥법」 제정과 스마트 물관리 산업 기반 마련

- 2018년 제정된 「물산업진흥법」은 물 산업의 체계적 육성과 지원을 목적으로 하며, 스마트 물관리 기술·기업을 정책적으로 지원할 수 있는 법적 기반을 제공하였다. 이 법은 스마트 물관리 확산과 산업 생태계 조성에 있어 다음과 같은 기반을 마련하였다.
 - 물산업 혁신 기술(IoT, AI, 스마트 수도미터 등)의 산업화 및 상용화 지원 근거 마련

- 물산업 진흥 기본계획 및 정책적 지원체계 수립
- 스마트물관리 기업의 해외 진출 및 국제 협력 지원 근거 확보

다) 「물관리기술 발전 및 물 산업 진흥에 관한 법률」 제정

- SWM의 체계적 확산을 위해, 정부는 「물관리기술 발전 및 물 산업 진흥에 관한 법률」 제정을 추진하였다. 이 법은 다음과 같은 기능을 목표로 한다.
 - SWG(Smart Water Grid)의 구축·운영·지원에 관한 기본사항 규정
 - 지식재산권, 금융·세제 지원, 산업 간 협력, 협의회 구성 등 종합적 기반 마련
 - 「지능형전력망의 구축 및 이용 촉진에 관한 법률」 사례 참고하여 통합·미래지향적 법률안 구상

2) 제도 개선을 통한 정책적 효과

가) 제도적 기반 강화를 통한 기술 도입 촉진

- 스마트 물관리 기술은 높은 초기비용과 복잡한 연계 구조를 가지므로 명확한 법적 근거가 뒷받침되어야 도입이 가능하다. 제도 개선을 통해 지방자치단체 및 공기업이 SWM 시스템을 안정적으로 구축을 지원할 수 있는 법적·제도적 기반이 형성되었다.

나) 부처 간 협력 촉진과 법률 일관성 제고

- 개별 법령의 정비와 통합 법률 추진은 국토교통부, 환경부 등 유관 부처 간 기능 정합성을 확보하고, 다부처 협력형 사업의 추진 기반을 마련하는 데 기여하였다.

다) 시민 보호 및 서비스 질 향상

- 스마트 물관리와 관련된 권리·의무 관계가 법률적으로 명확해지면서, 시민의 데이터 보호, 요금제 정당성, 공공서비스 품질 향상 등 생활 기반에서의 체감 효과가 높아지게 되었다.

3) 소결

- 한국은 SWM 도입 과정에서 기술적·재정적 한계뿐만 아니라, 제도적 기반 부족이라는 구조적 제약을 동시에 직면하였다. 이를 극복하기 위해 다양한 법·제도 개선 노력이 병행되었으며, 이러한 분석을 통해 다음과 같은 정책적 방향성을 제시할 수 있다.

- 통합법 제정과 개별 법령의 정합성 확보 : 상위 차원의 통합법 마련과 더불어, 개별 법령 간 유기적 연계와 기능 구분을 명확히 하는 이중 전략이 필요하다.
- 스마트 기술 반영을 위한 상시적 개정 체계 : IoT, AI, 빅데이터 등 신기술의 빠른 확산에 대응할 수 있도록, 법령 개정을 정례화·상시화하는 제도적 틀을 구축해야 한다.
- 제도 개선의 포괄성 확보 : 법·제도 개선은 단순히 기술 도입을 지원하는 차원을 넘어, 시민의 권익 보호, 공공서비스에 대한 신뢰 형성, 정보 공개 확대까지 포함해야 한다.
- 나아가, 한국은 변화하는 기후·환경 조건과 급속한 기술혁신 흐름에 대응하기 위해 유연하고 적응적인 법제 운영을 추진하고 있다. 정책 설계와 법제 정비가 지속적으로 연계될 수 있도록 체계를 강화하고 있으며, 이를 통해 SWM이 단기적 프로젝트 수준을 넘어 국가 차원의 지속가능한 제도로 자리 잡도록 발전시키고 있다.
- 이러한 경험은 국내 차원에서뿐만 아니라, 국제협력 및 개도국 ODA 모델로 확산될 수 있는 시사점을 제공한다. 즉, 법·제도 개선 없이는 기술 기반의 SWM이 안정적으로 운영되기 어렵다는 교훈을 바탕으로, 한국은 제도적 정합성과 사회적 신뢰 구축을 핵심 전략으로 삼고 있다.

4. 키르기즈공화국에 적용 가능한 한국 사례 및 시사점

가. 기술 및 정책 측면에서의 적용 가능성

1) 기술적 측면

- 한국에서 개발된 스마트 물관리 기술 중 해외에서 실질적인 효과가 기대되는 주요 기술은 다음과 같다.
 - 첫째, 스마트 미터링 시스템이다. 이 시스템은 사용자의 물 사용량을 실시간으로 계측하고 데이터를 자동으로 전송하여 누수나 이상 사용을 조기에 감지할 수 있도록 한다. 정기 검침 인프라가 부족하고 상수도 누수가 빈번한 개발도상국에서는 특히 유용하며, 무단 사용 방지와 수익률 개선 효과도 기대된다. 또한, 전력 공급이 불안정한 지역의 특성을 고려해 데이터 전송 주기를 조절하거나 저전력 통신 기술을 적용함으로써 현지 적응성을 높일 수 있다.
 - 둘째, 누수 감지 센서와 블록 시스템 운영 기술은 해외 시장에서 높은 주목을 받을 수 있다. 한국은 블록 단위로 급수구역을 나누고 각 구역에 감지 센서를 설치해 누수를 실시간으로 탐지하고 관리하는 체계를 운영 중이다. 이 기술은 관망 노후화가 심각한 도시 지역이나 물 손실률이 높은 국가에서 수자원 낭비를 줄이는 데 매우 효과적이다. 실제로 베트남 현지 시범사업에서는 누수 감지 센서를 적용하여 기술의 효과를(호찌민시 NRW 사업 전 58%에서 사업 후 16%) 검증한 바 있다.
 - 셋째, 경량형 SCADA 시스템은 개도국이나 중소 도시에 적합한 스마트 제어 기술이다. 이 시스템은 상수도·하수도 설비의 상태를 원격으로 감시하고, 수질·유량·압력 데이터를 실시간 수집·분석하여 시설을 자동 제어한다. 한국에서는 저비용·소형화된 SCADA 시스템을 개발하여 현지의 기술·재정적 한계를 고려한 맞춤형 공급이 가능하며, 특히 운영 유지비가 낮아 공공요금 재원이 부족한 국가에서 활용도가 높다.
 - 넷째, 소규모 용수 공급 및 수질 모니터링 시스템은 농촌 지역이나 기반 시설이 미비한 도시 외곽에서 수자원 서비스의 질을 향상시키는 데 적합하다. 이는 자동화된 정수처리 장치, 병원균 감지 센서, 실시간 수질 경보 기능 등을 포함하며, 위생 문제 해결과 질병 예방에 중요한 역할을 한다. 베트남의 일부 농촌 지역에서 이 시스템을 시범 적용한 결과, 적은 비용으로 안정적인 수돗물 공급과 수질관리가 가능하다는 점이 입증되었다.
- 한국의 스마트 물관리 기술은 선진 기술력과 운영 경험을 바탕으로 물 관리 인프라가 미흡한 국가에 실질적인 대안을 제공할 수 있다. 특히 스마트 미터링, 누수 감지, SCADA,

소규모 수질 관리 기술은 상대적으로 적은 비용으로 큰 효과를 낼 수 있어 개발도상국 및 신흥시장에서 수요가 매우 높다. 이러한 기술의 효과적인 확산을 위해서는 단순한 기술 수출을 넘어, 제도·운영·교육까지 포함한 통합적 지원체계가 함께 구축되어야 하며, 이는 한국 물산업의 국제적 위상을 높이는 데 크게 기여할 것이다.

2) 정책적 측면

- 한국은 급격한 도시화와 기후 변화에 대응하기 위해 디지털 기반의 스마트 물관리 정책을 선도적으로 도입해 왔다. 이러한 정책은 단순히 기술적 도입을 넘어 제도, 요금 체계, 거버넌스에 이르기까지 물관리 전반의 구조를 혁신하는 역할을 수행하고 있으며, 이는 물 관리 체계가 미비한 국가에 중요한 정책적 모델로 작용할 수 있다. 본 절에서는 키르기스공화국에 적용할 수 있는 한국의 스마트 물관리 정책과 정책 확산을 위한 전략적 방향을 기술하였다.

가) 총괄원가 반영형 요금제 정책

- 한국은 물의 희소성과 공급 비용을 요금에 반영하는 정책을 추진함으로써 물의 가치 인식 제고와 재정 기반 마련을 동시에 추구하였다. 특히 SWM 시스템 운영에는 지속적인 유지관리 비용이 수반되므로, 해외 도입 시 요금 체계의 현실화가 필수적이다. 한국은 수도 요금 체계 내에 광역상수도 요금, 댐용수 요금, 하천수 사용료 등을 항목별로 표시하여 사용자 인식을 제고한 바 있으며, 이는 개발도상국에서도 도입할 수 있는 정책적 접근이다.

나) 수요관리 기반의 스마트 물정책

- 한국은 기술 중심의 수자원 관리에서 벗어나 수요관리 기반 정책으로 전환하고 있다. 예를 들어, 누수 발생을 억제하는 유인책 마련, 피크타임 요금 적용 검토, 차등요금제 설계 등을 통해 사용자의 물 절약 행동을 유도하였다. 이러한 접근은 현지 상황에 맞춰 간소화할 수 있으며, 지역별 맞춤형 전략으로 수요조절 효과를 극대화할 수 있다(K-water, 2017).

다) 지방정부 중심의 시범 사업 모델

- 한국은 중앙정부 주도의 일괄적 사업 추진보다, 역량이 확보된 지방자치단체 중심의 시범 사업을 통해 스마트 물관리 정책을 확산하고 있다. 이는 개도국이나 유사 개발도상국에서 현지의 인프라 여건과 행정 역량을 고려해 지역별로 점진적으로 적용할 수 있는 방식으로, 정책 수용성과 지속가능성을 확보하는데 효과적이다.

라) ICT 기반 데이터 통합 및 표준화 정책

- 스마트 물관리 정책의 핵심은 정보의 수집·통합·활용이다. 한국은 「물관리기본법」을 통해 물 정보의 정보화 및 공개를 제도화하였으며, 국가 및 지자체의 물 관련 데이터를 체계적으로 통합하는 법적 근거를 마련하였다. 이러한 정보 기반 정책은 해외에서도 적용 가능하며, 초기에는 센서 데이터와 수요 정보를 활용한 간단한 모니터링 체계부터 점차 확대할 수 있다(KEI, 2021).

마) 다부처 협력형 거버넌스 체계

- 한국은 부처 간 분절된 물관리 구조의 한계를 극복하기 위해 유역 단위 협의회와 자문위원회를 제도화하였다. 이러한 거버넌스 모델은 국가 간 혹은 지역 간 물 분쟁을 해결하는 데 있어 참고할 수 있는 제도적 프레임으로 활용할 수 있으며, 시민사회, 민간기업, 학계가 참여하는 포괄적 의사결정 체계 구축을 가능하게 한다(K-water, 2017).

나. 정부 및 지방자치단체 협력 모델 제안

- 스마트 물관리는 기후 변화, 도시화, 물 부족 등 복합적인 환경 문제에 대응하기 위한 전략적 수자원 관리 수단으로 주목받고 있다. 특히 개발도상국과 저개발국가에서는 기반 인프라가 열악하고 행정 역량이 미흡하여 중앙정부와 지방정부 간의 체계적인 협력 없이는 스마트 물관리의 도입과 정착이 어려운 실정이다. 본 절에서는 한국의 경험과 국제공동연구 결과를 바탕으로 키르기스공화국의 정부-지방자치단체 협력 모델을 분석하고, 효과적인 협력체계 구축을 위한 정책적 방향을 제시하였다.

1) 정부-지방자치단체 협력 모델의 필요성과 구조

가) 중앙정부의 정책·재정 주도, 지방정부의 실행력 확보

- 개도국에서는 중앙정부가 스마트 물관리 정책을 수립하고 ODA 및 다자기구(예: KOICA, World Bank 등)와의 협력을 통해 재원을 조달하는 것이 일반적이다. 반면 지방정부는 수요 조사, 현장 시공, 시민 홍보 등 실질적 실행 주체로서 역할을 수행한다. 이러한 분업 구조는 한국에서도 효과를 입증하였으며, 키르기스공화국에 적합한 협력 모델로 제시될 수 있다(K-water, 2017).

나) 위수탁 방식에 기반한 지방 상수도 운영협력

- 한국의 K-water는 지자체와 위수탁 계약을 체결하여 지방 상수도 운영을 지원하는 모델을 운영하고 있다. 이는 지방정부가 상수도 분야에서 기술적·운영상 역량이 부족한

경우, 공기업이 운영 지원·유지보수 서비스를 제공하는 방식이다. 키르기스공화국에서도 중앙정부와 지방정부 간 기능 분담이나, 한국의 K-water와 같은 조직을 통하여, 지방 정부 또는 지방 소규모 운영기관에 사례로 적용할 수 있으며, 특히 지방 상하수도 운영의 전문성 확보 및 서비스 품질 향상에 기여할 수 있다.(K-water, 2017).

2) 협력 모델 사례 및 운영 전략

가) 유역단위 협의회 및 연계운영협의체 도입

- 스마트 물관리의 효율적인 도입을 위해 국가-지자체-지역사회 간 다자간 협의체 구성이 제안된다. 한국에서는 ‘하천수조정협의회’나 ‘연계운영협의회’ 등의 제도화가 이루어졌으며, 이를 통해 물 공급·홍수·환경 기능 간 통합적 의사결정이 가능해졌다. 키르기스공화국에서도 이를 벤치마킹하여 유역 단위 거버넌스 체계를 마련할 수 있다(K-water, 2017).

나) 지자체 역량 강화를 위한 시범 사업 및 훈련 프로그램

- 한국은 지역별 역량 격차를 해소하기 위해 지자체 중심의 시범 사업을 추진하고, 운영관리 역량을 훈련 프로그램을 통해 체계적으로 강화해 왔다. KOICA, K-water 등이 참여한 국제협력 프로그램에서도 유사한 방식으로 지방정부 공무원, 기술 인력, 지역 주민을 대상으로 교육과 실습 중심의 훈련을 시행하고 있다(K-water, 2017).

다) 물 관련 정책 결정의 개방형 참여체계 구축

- 중앙-지방 간 협력 모델은 정책 수립과 집행의 ‘상향-하향’ 흐름을 동시에 고려해야 한다. 한국은 중앙정부의 기본계획 수립과 함께 유역 및 지역단위 이해관계자의 참여를 보장하는 시스템을 강화하고 있으며, 키르기스공화국에서도 시민사회·지방정부·NGO가 참여하는 개방형 협력 구조를 구축하는 것이 중요하다(K-water, 2017).

3) 정책적 시사점

- 키르기스공화국에서 스마트 물관리를 효과적으로 추진하기 위해서는 정부와 지방자치단체 간의 역할 분담, 권한 위임, 책임 공유가 체계적으로 구성되어야 한다.

〈표 3-4〉 정책적 방향

구분	세부 내용
국가 차원의 전략 수립과 재정 지원 체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> • 중장기 스마트 물관리 로드맵 수립 • ODA 및 다자기구 연계를 통한 재정 확보
지방정부 실행력 강화를 위한 기술·운영 협력	<ul style="list-style-type: none"> • 위수탁 방식 또는 기술지원 플랫폼 도입 • 맞춤형 훈련 프로그램 및 시범 사업 확대
거버넌스 기반 유역 협력체계 제도화	<ul style="list-style-type: none"> • 유역 중심 협의체 및 정보 공유체계 마련 • 하천, 상수도, 재이용수 등을 통합적으로 관리
역할과 책임을 명확히 구분하는 제도 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 법적 책임소재 명확화 • 위기대응 및 유지관리 역할 분담

4) 소결

- 스마트 물관리의 성공적인 해외 확산을 위해서는 기술 이전과 함께 ‘정부-지방정부 협력구조’의 제도적 수출이 병행되어야 한다. 한국의 경험은 실행력 있는 지방정부의 역할이 전체 시스템 안정화에 핵심임을 보여주며, 이를 키르기스공화국에 맞게 현지화하는 것이 국제협력의 실효성을 높이는 지름길이 될 것이다.

다. 경제적·사회적 이점 분석

- 물은 인간 생존과 경제활동의 기본 자원이다. 그러나 많은 국가에서는 수자원의 불균형, 인프라 부족, 오염, 기후변화로 인한 공급 불안정 등으로 인해 물관리에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로, 차세대 기술(ICT, IoT, AI 등)을 활용한 ‘스마트 물관리(Smart Water Management)’가 주목받고 있다. 본 절에서는 키르기스공화국에서 스마트 물관리 도입 시 기대할 수 있는 경제적·사회적 효과를 제시하였다.

1) 경제적 이점

가) 물 손실 저감에 따른 비용 절감

- 일부 국가에서는 상수도 시스템에서 전체 공급량의 상당량이 누수 또는 무단 사용으로 손실된다. 스마트 미터링, 누수 감지 센서, 지능형 블록 운영 시스템을 도입하면 이러한 손실을 줄여 상수도 사업의 수익성을 높일 수 있다. 한국의 사례에서도 누수율을 약 20% 수준에서 5% 이하로 줄인 바 있으며, 이로 인한 연간 운영비 절감은 전체 예산의 상당 부분을 차지한다(K-water, 2020; KEI, 2017).

나) 물관리 운영 효율성 제고

- 스마트 SCADA(원격감시제어시스템)나 실시간 수질·수량 감시 시스템은 운영 인력을 최소화하면서도 안정적인 공급을 유지하게 한다. 이는 유지 보수비용 절감과 동시에 자원의 효율적 배분으로 이어진다. 특히 넓은 지역을 커버해야 하는 농촌 지역이나 산악지역에서는 스마트 기술의 자동화가 큰 비용 대비 효과를 발휘한다(KEI, 2021).

다) 수입구조 개선과 민간 투자 유도

- 스마트 물관리 시스템은 정량적 데이터에 기반한 요금 부과를 가능하게 하여 재정의 투명성과 수익 예측 가능성을 높인다. 이는 정부 재정 의존도를 낮추고, 민간기업의 PPP(민관 협력사업) 참여를 유도하는 구조적 기반을 제공한다. 예측할 수 있는 수익 구조는 장기적인 시스템 유지와 기술 투자의 지속성을 담보하는 핵심 요인이다(KOICA, 2021).

2) 사회적 이점

가) 깨끗한 물에 대한 보편적 접근성 확대

- 스마트 정수장, 자동화 급수 시스템, 저비용 수질 모니터링 센서 등은 오염된 수자원 사용으로 인한 수인성 질병(설사, 콜레라 등)의 발생률을 현저히 낮춘다. 이는 주민 건강 향상은 물론, 의료비 지출 감소, 아동 출석률 증가, 여성의 물길 확보 시간 단축 등 사회 전반에 긍정적인 파급효과를 가져온다(WHO & UNICEF, 2021).

나) 수자원 거버넌스 참여 촉진

- 스마트 물관리 플랫폼은 데이터 기반의 투명한 의사결정을 가능하게 하며, 시민이 수요 관리와 물 절약 캠페인에 직접 참여할 기회를 제공한다. 이는 지역사회의 물 인식 제고, 자발적 보전 활동 유도, 공공정책 수용성 강화로 이어진다(KEI, 2017).

다) 도시 및 지역사회 회복력 강화

- 기후 변화로 인한 가뭄, 홍수 등 물 재해가 빈번한 개도국에서는 스마트 물관리가 조기경보, 수문 자동제어, 우수배제 최적화 등을 통해 재해 대응 역량을 강화한다. 이는 단순한 기반 시설 개선을 넘어, 지역사회의 지속가능성과 재난 대비 능력을 근본적으로 개선하는 효과를 제공한다(KEI, 2021; K-water, 2020).

3) 소결

- 스마트 물관리는 키르기스공화국의 물 문제 해결을 위한 강력한 수단일 뿐만 아니라, 경제적 효율성과 사회적 형평성을 동시에 충족할 수 있는 혁신적 관리 방식이다. 기술 중심 접근을 넘어서, 제도, 교육, 재정, 거버넌스까지 아우르는 통합 전략이 병행될 때 진정한 수자원 지속가능성 확보가 가능하며, 이는 키르기스공화국의 장기적인 사회경제적 안정에도 크게 기여할 것이다.

제4장

키르기스공화국 스마트 물관리 도입을 위한 로드맵

1. 스마트 물관리 도입 비전 및 목표
2. 이슈 분석을 통한 개선 과제 도출
3. SWOT 분석을 통한 전략 방향 설정
4. 단계별 추진 전략(단기, 중기, 장기)
5. 주요 이해관계자 분석 및 협력 방안
6. 스마트 물관리 도입 시 주요 고려사항

키르기스공화국 스마트 물관리 도입을 위한 로드맵

1. 스마트 물관리 도입 비전 및 목표

〈표 4-1〉 비슈케크시 스마트 물관리 도입 비전 및 목표

구분	세부 내용	
비전 (Vision)	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 물관리 시스템을 통한 기후 회복력 있는 도시 구축 키르기스공화국은 기후변화와 급격한 도시화에 대응하기 위해, 물 손실을 최소화하고 수질과 서비스 품질을 향상시키는 스마트 물관리 시스템을 도입함으로써 지속 가능한 도시 물환경 구축 	
미션 (Mission)	<ul style="list-style-type: none"> 깨끗하고 효율적이며 손실 없는 물 공급을 위한 스마트 기술 활용 스마트 센서, IoT, 인공지능, 자동화 제어 기술을 활용하여 정수, 송수, 누수관리, 고객 서비스 전반의 혁신을 실현하고, 수자원과 에너지의 효율적 이용을 통해 기후 대응형 물순환 시스템 구축 	
목표 (Goals)	스마트 인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> 노후 상수도 관망 및 설비 현대화 SCADA 기반의 실시간 모니터링 및 제어 체계 구축 데이터 기반의 스마트 의사결정 시스템 운영 누수, 수질, 에너지 관리를 위한 AI 기반 기술 도입
	디지털 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> 물 관련 기관의 디지털 기술 내재화 및 역량 구축 수도미터 및 스마트 장비 성능시험센터 설립 디지털 전문 인력 양성 프로그램 운영 데이터 거버넌스 체계 수립 및 데이터 품질 관리
	정책 및 파트너십 강화	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 물관리 전환을 위한 법·제도 정비 공공 및 민간 자본 유치를 위한 PPP 모델 도입 국제기구(ADB, WB 등)와의 협력 확대 시민 인식 제고 및 참여 유도를 위한 대중 캠페인 추진
전략 방향 (Strategic Directions)	전략 분야	<ul style="list-style-type: none"> 주요 전략 방향
	Smart Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> 노후 설비 현대화, SCADA 시스템 도입, 스마트 의사결정 시스템 구축, AI 기반 누수·에너지·수질 관리
	Digital Capacity	<ul style="list-style-type: none"> 정기 교육 프로그램 운영, 디지털 전환 전담팀 구성, 성능 인증체계 마련, 데이터 관리 표준화
	Policy & Partnership	<ul style="list-style-type: none"> 물관리 법령 개정 및 가이드라인 수립 PPP 및 융복합 자원 조달 모델 개발 국제협력사업 추진 대중 인식 개선 활동 강화

다. 소규모 도시 물관리 주요 이슈 분석

- 소규모 도시는 정수시설이나 송수 기반시설이 미비하며, 공동 우물이나 소규모 취수지에 의존하는 경우가 많다.
- 설비 유지관리 인력이 부족하고, 수작업 중심의 운영 방식으로 인해 고장 시 신속한 대응이 어렵다.
- 수원은 지하수에 의존하고 있으나, 기후변화로 인한 강우량 감소로 안정적인 수원 확보에 어려움을 겪고 있다.
- 재정 기반이 취약하여 지방정부의 자체 예산만으로는 상수도 시설의 유지·보수가 어려운 상태이다.
- 하수도 인프라는 더욱 열악하며, 오염수 방류와 수질오염 문제가 통제되지 않은 채 방치되어 있는 실정이다.

라. 스마트 물관리 도입을 위한 개선 과제

- 스마트 인프라 구축
 - 노후된 송·배수관로 및 펌프 시설의 현대화가 필요하다. 현재 시설의 70% 이상이 노후되어 있으며, 자동화 시스템 부재로 인해 수작업 운영에 의존하고 있다.
 - 실시간 모니터링 및 제어 시스템(SCADA 등)을 도입하여 운영 효율을 높이고, 펌프 운영 최적화 및 에너지 감사 체계를 통해 에너지 절감을 도모해야 한다.
 - AI 기반의 스마트 의사결정 시스템 도입을 통해 누수 감지, 수질 경보, 에너지 소비 최적화 등 선제적 대응체계를 마련할 필요가 있다.
- 디지털 역량 강화
 - 지방정부 및 수도사업자의 디지털 전환을 위한 기술 교육과 훈련 프로그램을 확대해야 한다.
 - 데이터 기반 의사결정 강화를 위해 중앙 집중형 데이터 허브를 구축하고, 유량·수압·수질 등을 실시간으로 수집·분석할 수 있는 장비의 단계적 확산이 요구된다.
 - 스마트 장비에 대한 성능 인증 및 시험체계를 마련하고, 외곽 농촌지역 등 취약지역을 대상으로 한 디지털 전환 시범사업도 병행 추진해야 한다.

- 정책 및 제도 정비
 - 스마트 물관리를 지원할 수 있도록 기존 물 관련 법령과 기준을 정비하고, 요금 현실화 및 사용량 기반 부과체계의로의 전환을 유도해야 한다.
 - 무수수량(NRW) 감축과 재정 건전성 강화를 위한 요금제 개편이 필요하며, O&M(운영·유지관리) 재원 확보를 위한 장기 투자계획 수립이 필요하다.
 - ADB, WB 등 개발 파트너와의 협력을 통해 기술 및 재정 지원 기반을 확보하고, 스마트 물관리 표준 모델 정착을 위한 정책 연계 방안을 수립해야 한다.
- 기술인력 및 운영역량 강화
 - 지방 중소도시 및 농촌지역의 설계 및 O&M 역량이 매우 낮아, 전문 인력 양성과 장비 보급이 시급하다.
 - 민간 기술기업 및 학계와 연계하여 지역 단위 유지관리 생태계를 조성하고, 자산 관리 및 예방 정비 기반의 체계적 운영시스템을 구축해야 한다.
- 통합 거버넌스 강화
 - 기관 간 역할과 책임이 분산되어 있어 통합 물관리(IWRM) 실행이 어려운 상황이며, 특히 유역 관리 기관의 권한이 미약하다.
 - 중앙정부와 지방정부 간 역할을 명확히 정의하고, BVK과의 협업 체계를 정립해야 하며, 추이(Chüy) 운하 등 국제수계에 대한 공동관리 방안도 마련해야 한다.

마. 결론

- 지역별 물관리 이슈: 비슈케크시는 노후 인프라(70% 이상)와 자동화 시스템 부재, 낮은 수도미터 보급률(80% 이상 정액제 적용), 100% 지하수 의존, 그리고 취약한 유역 거버넌스가 주요 문제이다. 오쉬시는 고탁도 유입에 따른 정수 한계, 노후 정수시설, 15% 미만의 수도미터 보급, SCADA 부재, 외곽지역 서비스 형평성 문제 등이 존재한다. 소규모 도시의 경우 공동 우물에 의존하는 낮은 수원 안전성, 인력 및 예산 부족, 미비한 하수 인프라 등이 핵심 이슈이다.
- 스마트 물관리 개선 방향: 노후된 상수도 시설과 펌프장에 대한 현대화, SCADA 및 AI 기반 운영 시스템 도입을 통해 에너지 효율성과 운영 대응력을 강화해야 한다. 디지털

역량 측면에서는 지방정부 및 수도공사 대상 교육 강화, 데이터 기반 의사결정 체계 구축, 스마트 장비 보급 확대가 필요하다. 제도 측면에서는 요금 현실화, 법령 정비, O&M 재원 확보를 위한 정책적 기반 마련이 중요하다.

- 실행 역량 및 거버넌스 강화: 지방 중소도시의 설계 및 유지관리 기술력 부족을 해소하기 위해 전문 인력 양성과 지역 내 기술 생태계 조성이 필요하다. 또한 기관 간 역할 명확화 및 중앙-지방 협력 체계 구축을 통해 IWRM 실행 기반을 마련하고, 추이 운하 등 국제수계에 대한 공동관리 체계를 정비함으로써 통합 물관리 거버넌스를 강화해야 한다.
- SDG 연계 및 벤치마킹 기반 추진전략
 - 2단계는 유엔 지속가능발전목표(SDGs) 달성에 직접 기여하도록 설계한다. 핵심 연계는 SDG 6(깨끗한 물과 위생: 6.1 안전한 식수 접근, 6.4 물 이용 효율성, 6.5 통합물관리), SDG 9.4(인프라·설비의 친환경 전환), SDG 13(기후변화 대응: 에너지 절감·배출 저감)이다. 단계별 성과지표는 'NRW 25% 이하·스마트 수도미터 보급률·에너지 집약도(kWh/m³)·통합관제 커버리지' 등으로 SDG 타깃과 직접 연결해 관리한다(Kyrgyzstan, Initiative 1: Transforming of the system and reforms for inclusive and quality education; Initiative 2: Promotion of an inclusive green economy, United Nations).
 - 키르기스공화국 정부는 「2030년까지 국가발전 프로그램(대통령령 제178호, 2025.6.5.)」을 통해 중기(2024~2028) 및 장기(2030) 발전 전략을 수립하였다. 국가 발전 전략은 산업화, 지역 허브화, 농업·관광 개발, 녹색에너지 4대 축을 중심으로 하며, 국민 복지와 사회 정의 실현을 최우선 목표로 삼는다. 키르기스 경제 동향(2030 국가발전계획 수립), 유럽경제외교과, 외교부(2025.07.22.). 이 중 물 분야는 농업·관광 개발과 녹색에너지 전략에 직접 연계되며, △용수 손실 절감 △관개 면적 확대 △청정 수자원 기반의 관광 활성화 △수력 발전 및 재생에너지 확대를 주요 방향으로 제시하고 있다.
- 벤치마킹은 유사 맥락의 국제 사례를 준용한다.
 - 바하마, 뉴프로비던스(Performance-Based Contract for NRW Reduction and Control): IDB(미주 개발은행) 지원으로 NRW 감소를 위한 성과기반 계약(PBC)을 실행하였다. 누수 탐지·압력 조절·PRV 설치 등을 통해 실질적 NRW 수치를 개선하였다. PBC 도입 후 계약 조건에 맞춰 성과 기반 보상을 제공하고, 독립적 검증 체계를 활용하였다.

3. SWOT 분석을 통한 전략 방향 설정

〈표 4-2〉 SWOT 결과 요약표

	강점(Strengths)	약점(Weaknesses)
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가물전략(2023-2040) 등 스마트 물공급을 지지하는 정책 기반 존재 • 도시 대부분이 기존 급수망을 갖추고 있어 디지털 전환 기반 마련 가능 • 일부 지역에서 스마트 수도미터·센서 기반 시범사업이 수행된 경험 존재 • 비슈케크시 수도공사 및 추이 물관리청과 같은 행정·운영 조직의 기반이 구축되어 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 물리적 노후화로 인해 디지털 누수 감지 효과가 제한적이며, 기반 인프라 업그레이드가 선행되어야 함 • 수작업 계량 방식이 주를 이루며, 디지털 수도미터 도입률이 낮음 • 원격 모니터링 및 제어 시스템이 전무하여 실시간 운영이 어려움 • 디지털 시스템 운영 및 유지관리 인력이 부족하고 지역 간 기술격차 존재
기회(Opportunities)	SO	WO
<ul style="list-style-type: none"> • EBRD, ADB, WB 등 다양한 국제 기구의 스마트 물관리 기술 지원 및 자금 지원 가능성 • AI 기반 누수탐지, AMI 등 경제적이고 확장 가능한 기술 보급 확대 • 스마트시티 전략과 연계하여 통합 인프라 현대화 추진 가능 • 물 절약, 가뭄 대응, 기후 변화 적응 등 지속가능성 측면에서 디지털 물관리 필요성 증대 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 스마트물관리 전략을 국제기구(EBRD, ADB, WB, KOICA 등)의 재정·기술 프로그램과 연계 • 시범사업을 성공 사례로 확장하여 스마트시티 통합 전략으로 전환 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 행정조직(예: BVK를 활용해 기술을 대규모로 확산 적용 - 민관협력(PPP) 기반으로 디지털 인프라 확대 추진 	<ul style="list-style-type: none"> • 국제 기술지원 프로그램을 통해 지방 공기업 인력의 디지털 역량 제고 • 노후 인프라 개선 및 NRW 감축을 위한 기후 재원 기반 투자 프로그램 단계적 추진 • 글로벌 기술기업과 협력하여 국가 단위 물 정보 통합 플랫폼 구축 • 수작업 중심 구조를 탈피하기 위한 지역 디지털 생태계 육성 및 기술 내재화
위협(Threats)	ST	WT
<ul style="list-style-type: none"> • SCADA, 센서, AMI, 통신망 구축에 초기비용 부담이 큼 • 고령 인력이나 일부 지역에서 기술 도입에 대한 저항 및 이해 부족 • 사이버 보안 및 인프라 취약성에 대한 우려 • 단기간 내 성과가 가시화되지 않으면 예산 배분의 지속성 확보 어려움 • 외산 기술 의존도 증가 시 장기적 유지관리 비용 부담 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • BVK의 데이터 거버넌스 체계 구축 • 장기 투자 재원을 확보하기 위한 국가 디지털 물예산 프레임워크 수립 • 국산 디지털 솔루션과 공급망 다변화를 통해 외산 기술 의존도 완화 • 기존 홍보채널을 통해 디지털 기술 신뢰도 제고 및 시민 수용성 향상 	<ul style="list-style-type: none"> • 물리적 인프라 개선과 디지털 전환을 통합 기획하여 비효율적 투자 방지 • 지방운영 조직의 기술 저항 해소를 위한 변화관리 프로그램 및 디지털 리더러시 교육 • 초기에는 저비용·확장형 디지털 솔루션 중심의 점진적 전환 전략 추진 • 수동-디지털 병행 운영모형을 통해 저자원 지역의 연착륙 도모

4. 단계별 추진 전략(단기, 중기, 장기)

가. 단기(1~3년) : NRW, 에너지 저감 성과 보장형 SWM 시범사업

〈표 4-3〉 성과보장형 SWM 시범사업

구분	내용	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> 노후 시설의 현대화, 스마트 운영의 기반 구축, 성과보장형 사업 모델 실증, 요금 기반 물관리 체계로의 전환 	
주요 추진 전략 및 과제	주요 시설의 현대화 및 자동화	<ul style="list-style-type: none"> 노후 정수장, 펌프장, 배수지, 관망을 우선 정비하고 핵심 기반 시설에 SCADA 기반의 원격감시 및 자동제어 시스템 도입 시범 DMA(District Metered Area) 구역 설정 및 유량·압력·수질센서 설치
	스마트 미터링 시범도입 및 요금 기반 관리 체계 전환	<ul style="list-style-type: none"> 전 수용가를 대상으로 수도미터 설치를 확대하고, 스마트 수도미터(AMI)를 시범 도입하여 정액요금제를 사용량 기반 체계로 전환 요금 정보의 디지털 수집·관리 체계를 구축하고 고객별 사용패턴 분석 기반의 수요관리 시범 실시
	디지털 기술 표준화 및 인증체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터, 통신모듈, 데이터 수집기 등 디지털 장비의 성능시험 및 인증센터 설립 디지털 시스템 간 연동을 위한 국가 표준 통신 및 데이터 프로토콜 개발
	성과보장형 누수 및 에너지 저감 시범사업 실행	<ul style="list-style-type: none"> 절감된 물량 및 에너지 비용을 기반으로 사업비를 회수하는 성과기반 모델 적용 누수 탐지·복구, 펌프 효율 최적화 시범사업을 통해 투자성과 검증 및 구조 고도화
	정책 기반 조성국 국제협력 연계 추진	<ul style="list-style-type: none"> 누수·에너지 절감 효과 기반의 성과보장형 사업 모델 표준화 EBRD, KOICA 등 국제기구의 ODA 재원 유치를 위한 Pre-Concept Paper(PCP) 작성 및 제출 민간참여를 유도하기 위한 PPP 기본구조 설계

나. 중기(4~7년) : 스마트 인프라 확대 및 최적화

〈표 4-4〉 스마트 인프라 확대 및 최적화 추진 전략

구분	내용	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> 전면적인 스마트 인프라 확산, 민간참여 확대, 제도적 기반 강화, 국가적 확산 전략의 실행 기반 구축 	
주요 추진 전략 및 과제	스마트 인프라의 전국적 확산	<ul style="list-style-type: none"> AMI 기반 스마트 수도미터를 모든 수용가에 단계적으로 확대 설치 정수·송수·배수·가정까지 연결되는 IoT 기반의 전주기 감시체계 구축 통합 관제센터에서 실시간 데이터 분석 및 운영 최적화 수행
	성과보장형 민간 참여 사업의 본격 추진	<ul style="list-style-type: none"> 성과지표(누수율 감소, 에너지 절감량 등)에 따라 민간이 보상받는 Pay-for-Performance 방식 사업 확대 민간 기술기업이 주도하는 NRW 감축 및 에너지 고효율화 사업 정규화

〈표 4-4〉 계속

구분	내용	
주요 추진 전략 및 과제	디지털 기술 표준화 및 인증체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터, 통신모듈, 데이터 수집기 등 디지털 장비의 성능시험 및 인증센터 설립 디지털 시스템 간 연동을 위한 국가 표준 통신 및 데이터 프로토콜 개발
	비슈케크시 성공 모델의 타 지자체 확산을 위한 중앙 정부 주도 정책 수립	<ul style="list-style-type: none"> 비슈케크시 시범사업을 기반으로 한 스마트 물관리 표준모델 개발 중앙정부 주도의 확산 정책 수립 및 타 지자체 대상 기술 이전 및 교육 연계 국제기구와 협력한 지자체별 연수, 기술 매칭, 시범 확산 프로그램 운영
	운영기관 및 인력의 디지털 전환 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> 수도공사 및 지방공기업 대상 교육 프로그램 정기 운영 지역 기반 디지털 기술 생태계 육성 및 유지보수 내재화 추진

다. 장기(8~10년) : 전면적인 디지털화 및 자립적 운영

〈표 4-5〉 전면적인 디지털 및 자립적 운영 추진 전략

구분	내용	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> 국가 상수도 전면 디지털화, 현지 기술 내재화 및 생산 기반 확보, 스마트 물관리 체계의 지속 가능한 자립 운영 확립 	
주요 추진 전략 및 과제	국가 전체 상수도 전면 디지털화	<ul style="list-style-type: none"> 전국 모든 상수도 시스템에 SCADA, AMI, IoT, AI 기반 운영체계 완전 도입 공급, 수질, 고객, 요금, 설비 등 모든 운영 요소의 통합 관리 실현
	현지 기술 자립을 위한 디지털 장비 생산 체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 대한민국 민간 업체와 협력하여 비슈케크시 내 디지털 장비 생산공장 설립 현지 정부의 제도적 지원(세제, 인증, 부지 제공 등) 확보 유지보수 및 공급망 자립화 기반 확보
	전문 인력 양성 및 교육 제도화	<ul style="list-style-type: none"> 기술 대학 및 직업 훈련기관과 연계하여 스마트 물관리 전문 커리큘럼 운영 디지털 운영·유지보수·데이터 분석 인력의 지속적인 양성 체계 마련
	스마트 물관리 성과의 국가 정책 화 및 제도 정착	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 물예산 프레임워크 구축 스마트 기술 도입, 민간참여, 성과관리 등을 포함하는 법·제도 정비 완결 외국 사례 대비 선도적인 국가 스마트 물관리 모델로 자리매김

5. 주요 이해관계자 분석 및 협력 방안

- 스마트 물관리 체계의 도입과 확산은 기술의 문제를 넘어, 정책, 제도, 재정, 산업, 시민 참여 등 다양한 이해관계자 간의 유기적인 협력과 역할 분담이 있어야 한다. 키르기스공화국의 물관리 구조, 행정 체계, 민간 기술 기반, 시민의 수용성을 고려할 때, 아래와 같은 거버넌스 체계와 협력 전략이 요구된다.

가. 중앙정부, 공공기관 및 지방자치단체의 역할

1) 중앙정부 – 정책 리더십과 산업 생태계 조성의 핵심축

〈표 4-6〉 정부의 역할

구분	내용
정책 및 제도 정비	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트물관리 확산을 위한 국가 차원의 중장기 전략 및 법·제도 체계 수립 • 수도 운영기관의 운영성과(누수율, 수질, 유수율 등)를 기반으로 운영관리 평가제도 도입, 평가 결과에 따라 예산, 기술지원, 상환 등 유인 제공 • 수도요금정책, 디지털 수도미터 의무화, 민간참여 가이드라인 등의 제도 마련
민간참여 성과보장형 사업 제도화	<ul style="list-style-type: none"> • 누수 및 에너지 절감을 기반으로 민간이 성과를 실현하고, 공공이 이를 보상하는 성과 기반 민간참여 사업구조를 제도화 • 성과보장형 사업 모델을 제도화하여 민간기업의 리스크를 완화하고, 디지털 전환 사업의 지속가능성 확보 • 국제협력 사업이나 ODA 자금 활용 시에도 이 구조를 적용하여 성과 중심의 재정 운용 가능
물 산업 생태계 기반 조성	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 수도미터, 센서, 통신장비 등의 성능을 검증하고 표준화하는 디지털 장비 성능 시험 및 인증센터 설립 • 디지털 운영, 유지보수, 데이터 분석 등 실무 중심의 전문 인력 양성을 위한 스마트 물관리 교육센터 구축 • 기술 개발, 제조, 실증, 수출 연계를 집약한 물 산업 클러스터 조성으로 민간기업의 성장 기반 마련
국제협력 및 민간 투자 유도	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 물관리를 기후 변화 대응, 탄소중립, 디지털 정부 전략과 연계 • ADB, KOICA, WB 등 국제기구와 연계한 ODA 및 PPP 기반 투자 유치 추진 • 민간 기술 적용 시, ODA-민간 매칭펀드 등 융복합 자원 구조 제안 가능

2) 지방정부 및 수도공사 - 실행 주체로서의 실질적 이행과 시민 접점 강화

〈표 4-7〉 지방정부 및 공공기관 역할

구분	내용
지역 기반 스마트 물관리 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 각 지역의 인프라 현황, 수자원 특성, 누수율 등을 고려한 단계별 스마트 물관리 전환 계획 수립 • 초기 시범구역(DMA)을 중심으로 구역화, 스마트 수도미터 도입, 누수탐지, 수질 모니터링 등 우선 적용 영역 지정
스마트 시스템의 도입과 운영 내재화	<ul style="list-style-type: none"> • 수도공사는 SCADA, AMI, AI 기반의 운영 시스템을 도입하여, 설비 자동화, 수요 예측, 고장 예방 등의 스마트 운영체계 정착 • 수집된 데이터를 기반으로 자산관리, 고객응대, 요금 산정, 수질 경보 등 통합 의사결정 시스템 운영
스마트 시티와의 연계 추진	<ul style="list-style-type: none"> • 지방정부는 스마트시티 구축 전략에 스마트 물관리 시스템 통합 요소 반영 • 상수도 데이터를 교통, 에너지, 재난 등 타 도시 인프라와 연계하여 도시 전반의 효율성 및 시민 편의 제고 • 통합 도시 플랫폼 기반 시민에게 실시간 수질 경보, 물 사용량, 누수 경보 제공
지역 기반 기술 확산과 운영 조직 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 성공한 시범 사업 모델을 타 지자체에 전파, 지역 간 협력 기반의 공동 도입 체계 구성 • 수도공사 내에 디지털 기술 전담 부서 설치, 내부 직원 재교육, 기술 내재화를 통해 지속 가능한 운영 역량 확보

나. 민간-공공 협력 모델

- 스마트 물관리 전환의 핵심은 민간의 기술 혁신성과 공공의 제도적 안정성을 결합한 지속 가능한 협력구조 구축이다.

〈표 4-8〉 공공-민간 협력 방안

구분	내용
공공-민간 공동 기술 개발 및 실증 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 수도공사와 기술기업이 협력하여 실수요 기반의 기술 개발 및 현장 테스트베드 운영 • 디지털 수도미터, 누수감지센서, 에너지 최적화 알고리즘 등은 우선적 실증 대상이며, 실적 기반으로 상용 확산 가능
성과보장형 민간참여 사업 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 민간기업이 절감한 누수량 또는 에너지양에 따라 보상을 받는 성과기반 계약 체계 운영 • 수도공사는 성과를 측정하고, 성과에 따라 민간에 일정 수준의 성과보수를 지급
디지털 기술 생태계 구축 및 현지화 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 장기적으로는 스마트 장비(수도미터, 센서 등)의 현지 생산 및 조립 체계 구축 • 기술 이전, 유지보수 매뉴얼 공동개발, 운영인력 훈련 등을 포함한 기술 내재화 구조 확립
공공 플랫폼을 통한 데이터 및 인프라 공유	<ul style="list-style-type: none"> • 수도공사가 공공 테스트베드, 설비정보, 운영데이터를 일부 공개함으로써 민간기술 기업의 솔루션 실증 지원 • 공동개발 기업에 대해 우선 구매기회, 기술 검증 인증서 발급 등 제도적 혜택 제공

다. 시민 및 지역사회 참여 방안

〈표 4-9〉 시민 및 지역사회 참여 방안

구분	내용
검침 기반 요금제 도입과 사용자 알림 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터 설치 확대와 함께 사용량 기반 요금제 도입, 시민이 자신의 물 사용량과 절감 효과를 확인할 수 있도록 앱 또는 문자 기반 알림 시스템 운영
시민 모니터링과 캠페인 연계	<ul style="list-style-type: none"> 누수 신고, 수질 이상 신고, 스마트 수도미터 고장 제보 등 시민 참여형 모니터링 체계 도입 학교, 지역 커뮤니티와 연계한 물 절약 교육, 인식 개선 캠페인 운영
청년층 대상 디지털 물관리 인력 양성	<ul style="list-style-type: none"> 기술학교, 직업 훈련기관과 협력하여 검침, 설치, 유지보수, 데이터 운영 등 스마트 물관리 관련 실무 인력 양성 현장 인턴십, 훈련 수료자 인증제 도입 등을 통해 지역 일자리 창출과 연결

라. 이해관계자별 주요 역할

〈표 4-10〉 이해관계자별 주요 역할 요약

이해관계자	주요 역할	협력 방안
중앙정부	정책 수립, 제도 정비 물 산업 생태계 조성	<ul style="list-style-type: none"> 운영관리 평가제도, 성과보장형 사업 제도화, 인증센터·교육센터·물 산업 클러스터 구축, ODA 연계
지방정부	스마트시티 연계 시민 참여 유도	<ul style="list-style-type: none"> 지역 전략 수립, 도시 인프라 통합, 캠페인 운영
수도공사	스마트 기술 운영 주체	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 설치 및 운영, 데이터 관리, 시범 사업 확산
민간기업	기술 개발 및 실증 유지보수	<ul style="list-style-type: none"> 공동 기술 개발, 성과기반 계약, 장비 현지화, 테스트 베드 활용
시민 및 지역사회	사용자, 감시자, 협력자	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터 연계 요금제, 사용자 앱, 교육 캠페인, 청년 기술 인력 참여

6. 스마트 물관리 도입 시 주요 고려사항

- 스마트 물관리 체계는 단순한 기술 도입이 아닌, 재정 조달, 법·제도 정비, 데이터 인프라 구축이 통합된 국가적 전환 전략이다. 특히 키르기스공화국처럼 예산, 인력, 제도가 한정된 환경에서는 제도 기반 정비와 인프라의 국가적 표준화가 사업의 지속성과 확산력을 결정짓는 핵심 요소가 된다.

가. 초기 투자 비용 및 재정 조달 방안

- 스마트 물관리 시스템 도입은 초기 단계에서 관망 개보수, SCADA 시스템 구축, 스마트 수도미터 도입 등 상당한 비용이 요구되므로, 단기적 재정 부담 완화와 중장기적 재원 마련 전략이 병행되어야 한다.

〈표 4-11〉 재원 조달 방안

구분	내용
단계별·선택적 투자전략	<ul style="list-style-type: none"> 전 구역 일괄 도입이 아닌, 누수율이 높은 구간 또는 핵심 시설(DMA, 펌프장 등)을 우선 대상으로 설정하여 점진적 확산 방식으로 투자 분산
성과기반 민간참여 (Pay-for-Performance) 확대	<ul style="list-style-type: none"> 민간기업이 누수 감축 또는 에너지 절감 등의 성과를 실현하고, 그 편익을 기반으로 성과 보상을 받는 구조를 제도화하고 시범 적용
ODA 및 국제기구 용자 활용	<ul style="list-style-type: none"> ADB, KOICA, EBRD, GCF 등 국제기구의 ODA 또는 기후·디지털 용자 프로그램을 통해 초기 인프라 구축 비용 조달 국제 파트너와 연계한 사업성 기반의 프로젝트 금융 구조(PFI) 설계 가능
민관협력(PPP) 구조 정착	<ul style="list-style-type: none"> 수도공사, 지방정부, 민간기업이 공동 출자 또는 역할을 나누어 수행하는 PPP 기반 공동사업 구조 활성화

나. 법·제도 개편 필요성

- 스마트 물관리 시스템은 기존의 운영 방식과 요금제, 계약 구조, 기술기준 등을 근본적으로 변화시키는 체계이므로, 이를 뒷받침할 수 있는 법·제도 정비가 선행되어야 한다.

〈표 4-12〉 법·제도 개편 필요성

구분	내용
디지털 장비 도입을 위한 법적·기술 기준 마련	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터, 센서, 데이터 수집기 등 디지털 기기의 도입 기준, 성능 요건, 검정 절차를 법적으로 규정 관련 운영 매뉴얼, 유지보수 주기, 품질 인증 체계를 제도화
성과보장형 민간참여 사업을 위한 법적 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> 누수 및 에너지 절감 성과를 측정하고 이에 따라 보상하는 계약 구조, 성과 평가 방법, 보상 기준을 법령 또는 가이드라인으로 명시 공공-민간 기술공동개발 및 실증에 대한 행정적·재정적 지원 근거 마련
데이터 보호 및 거버넌스 정비	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터 등으로 수집되는 개인·상업용 수요정보와 관련하여 데이터 보호, 저장, 활용, 공유에 대한 법적 규범 마련
지자체별 운영관리 수준 평가 체계 도입	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 물관리 도입 효과를 가능하고 정책지원을 차등화하기 위해, 지방정부 및 수도공사의 운영관리 수준, 디지털화 정도, 성과지표에 기반한 공식 평가 체계 도입 평가 결과는 예산 배정, 시범 사업 대상 선정, 기술지원의 근거로 활용 가능

다. 데이터 및 기술 인프라 구축 전략

- 스마트 물관리의 핵심은 실시간 데이터 수집, 통합, 분석, 예측에 기반한 운영이다. 이를 위해 국가 차원의 통합 기술 인프라 구축과 함께, 현장 중심의 운영체계가 필요하다.

〈표 4-13〉 데이터 및 기반 구축 방안

구분	내용
실시간 데이터 수집체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 수도미터, 유량·압력 센서, 수질모니터링 장비 등 IoT 기반 측정기기의 단계적 도입 원활한 데이터 통신을 위한 NB-IoT, LoRa, LTE 등 통신망 인프라 확보
통합 운영 플랫폼 개발	<ul style="list-style-type: none"> SCADA, AMI, 수질·자산관리시스템 등에서 수집된 데이터를 연계해 SI 기반 의사결정이 가능한 통합플랫폼 구축 누수탐지, 고장예측, 수요 예측, 운영 최적화를 포함한 지능형 기능 탑재
데이터 표준화 및 품질관리 체계 수립	<ul style="list-style-type: none"> 기관별 데이터 형식, 수집주기, 항목 통일을 통해 데이터 호환성 및 통합성 확보 데이터 품질관리 지침 및 보안·접근권한 공유규정 마련
디지털 기술 검증·시험 인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> 중앙정부 주도로 스마트 수도미터, 센서, 통신장비 등의 성능을 시험·검증하는 디지털 장비 성능시험센터 설립 인증체계, 품질평가 기준 마련을 통해 공신력 있는 기술 채택 환경 조성 센터는 기술의 현장 적용 전 필수 인증을 수행하고, 국제기준과 연계된 표준화 추진
기술 운영 인력 및 조직 정비	<ul style="list-style-type: none"> 수도공사 또는 지방정부 내에 디지털 전담 운영조직 신설, 기술직 공무원 및 공기업 직원 대상 재교육 프로그램 운영 교육센터 및 테스트베드와 연계한 현장 중심 기술인력 양성 체계 구축

제5장

스마트 물관리 도입을 위한 기술·인프라 구축전략

1. 원격 감시제어시스템 구축
2. 상수도 관리를 위한 스마트 의사결정 시스템 도입
3. 스마트 물관리 현대화

스마트 물관리 도입을 위한 기술·인프라 구축전략

1. 원격 감시제어시스템 구축

가. 정수장 및 펌프장용 원격 감시제어시스템 구축

- 디지털 전환과 스마트시티 시대에 접어들면서, 수자원 서비스 기관들은 실시간 가시성, 안정적인 운영, 사이버 보안, 회복력 있는 인프라를 확보하기 위해 원격 감시제어시스템을 점점 더 도입하고 있다. 이러한 시스템은 특히 공정 효율성, 수질, 서비스 연속성이 핵심인 정수장과 펌프장 운영에 있어 매우 중요하다.

- 잘 설계된 원격 감시제어시스템은 선제적 운영관리, 자동화된 제어, 데이터 기반 의사결정을 가능하게 하여 스마트 물관리 체계의 근간을 형성한다.

[그림 5-1] 원격 감시제어시스템



1) 시스템 아키텍처 개요

- 정수장 및 펌프장용 원격 감시제어시스템은 여러 하드웨어 및 소프트웨어 구성 요소로 통합된 아키텍처를 기반으로 하며, 이들 시스템은 현장 데이터를 수집하고, 제어 논리를 실행하며, 신호를 안전하게 전송하고, 운영자에게 실시간으로 실행 가능한 정보를

제공하기 위해 상호 연동된다.

- 이러한 구성 요소들은 현대 물관리 시스템의 디지털 중추 역할을 하며, 운영자가 지리적으로 분산된 자산에 대해 성능을 최적화하고 수질을 유지하며 운영 문제에 신속히 대응할 수 있도록 지원한다.

〈표 5-1〉 스마트 물관리 제어 시스템의 아키텍처에서 핵심 구성요소와 기능

구성요소	기능
센서 및 필드 장비	• 유량, 압력, 탁도, 잔류 염소, pH, 펌프 상태 등 모니터링
PLC(프로그램머블 로직 컨트롤러)	• 현장 장비의 제어 및 로직 실행
RTU(원격 단말 장치)	• 원격지 센서와 중앙 시스템 간 텔레메트리 통신 수행
SCADA(감시 제어 및 데이터 수집 시스템)	• 중앙 제어, 데이터 로깅 및 시각화 소프트웨어
HMI(휴먼-머신 인터페이스)	• 운영자가 실시간 상태를 확인하고 시스템과 상호작용하는 인터페이스
통신 네트워크	• 광케이블, 셀룰러, LPWAN, 무선 네트워크를 통한 데이터 전송
중앙 제어 센터	• 데이터 수신·분석·저장 및 현장 명령 전송
클라우드/엣지 통합(선택 사항)	• 고급 분석, AI, 머신러닝, 모바일 접근 지원

2) 주요 기능

〈표 5-2〉 원격 감시제어시스템 주요 기능

구성	기능
실시간 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> • 정수장 모니터링 지표 : 탁도, 잔류 염소, pH, 전도도, 자외선 강도, 유량 • 펌프장 모니터링 지표 : 압력, 유량, 펌프 회전수(RPM), 진동, 모터 온도, 전력 사용량 • 목적: 법적 기준 준수, 이상 징후 탐지, 운영 효율 유지
자동 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 센서 피드백과 설정값 기반으로 ① 펌프 가동/정지, ② 약품 주입량 조절, ③ 밸브 개폐, ④ 수요 급등 또는 고장 발생 시 운영 모드 전환 항목을 제어
알람 및 이벤트 관리	<ul style="list-style-type: none"> • ① 장비 고장, ② 기준치를 벗어난 수질, ③ 무단 접근, 정전 등의 설정값 및 알람 발생 시스템 구축 • 관리자, 운영자 및 점검정비팀 등에 SMS, 이메일, 모바일 앱 등을 통해 알람 전송
데이터 기록 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 각종 지표의 시계열 기록 • AI 또는 수리 모델과 통합하여 펌프 고장 예측, 에너지 최적화, 누수 탐지 수행 • Excel, SQL, 대시보드 형태의 규제 보고서 생성 가능

3) 구축 절차

〈표 5-3〉 원격 감시제어시스템 구축 절차

구성	기능
1단계: 요구 분석 및 현장 조사	<ul style="list-style-type: none"> 제어 지점 목록화 통신 인프라 가용성 평가 사이버 보안 위험 요소 식별
2단계: 설계 및 장비 선정	<ul style="list-style-type: none"> 센서, PLC/RTU, SCADA 소프트웨어 명세 현장 조건에 따른 적절한 통신 방식 선택
3단계: 설치 및 구성	<ul style="list-style-type: none"> 센서 및 제어 장비 설치 데이터 태그 구성, 제어 논리 및 알람 규칙 설정
4단계: 통합 및 시험	<ul style="list-style-type: none"> 중앙 SCADA 또는 클라우드 대시보드와 통합 드라이런(dry run) 및 검증 시험 수행
5단계: 운영 및 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> 운영자 교육 수행 백업 및 시스템 업데이트 프로토콜 수립 정기 점검 및 사이버 보안 훈련 계획

나. 영상 감시 시스템(Video Surveillance System, VSS) 구축

117

- 영상 감시 시스템의 통합은 스마트 물관리로의 전환에 있어 핵심 인프라 구성요소이다. 정수장, 펌프장 및 배수 시설이 점점 디지털화되고 원격 제어되는 추세에 따라, 이들 시설은 강화된 물리적 보안과 운영 가시성이 요구된다.
- 신뢰성 높은 감시 시스템을 구축은 ① 무단 침입, 기물 파손, 고의적 방해 행위로부터 주요 수자원 인프라 보호, ② 무인 또는 원격지 시설에 대한 실시간 모니터링 강화, ③ 사고 대응, 운영자 안전 확보, 규제 감사 지원, ④ SCADA 시스템과 보완적으로 연동되어 운영 제어와 보안 감시 동시 수행과 같은 역할을 수행할 수 있다.

1) 시스템 구성 및 아키텍처

- 영상 감시 시스템은 모듈형 확장성(Modular Scalability)을 바탕으로 구축되며, 각 현장에 단계적으로 도입하고 중앙 감시 플랫폼과 통합될 수 있도록 설계된다. 주요 구성요소는 〈표 5-4〉의 내용과 같다.

〈표 5-4〉 영상 감시 시스템 구성

구성	기능
IP 기반 감시 카메라	<ul style="list-style-type: none"> 출입문, 제어실, 저수지, 펌프 구역 등 실시간 영상 모니터링
영상 관리 시스템(VMS)	<ul style="list-style-type: none"> 카메라 영상을 안전하게 기록, 저장 및 관리하는 소프트웨어

<표 5-4> 계속

구성	기능
중앙 감시 센터	• 다수 현장의 실시간 영상 확인 및 재생을 위한 통합 제어 센터
통신 인프라	• 광케이블, 셀룰러 또는 전용 무선 통신망을 통한 영상 전송
비상 전원 공급장치(UPS/태양광)	• 정전 시에도 시스템이 중단되지 않도록 전원 백업
모션 감지/침입 센서	• 무단 침입 시 녹화 또는 경보를 자동으로 유발하는 선택 센서
AI 기반 영상 분석	• 이상 움직임, 배회, 장비 접근 등을 자동 감지 및 경보

2) 구축 범위

- 영상감시시스템은 전략적 주요 자산을 중심으로, 단계적으로 구축, 주요 대상은 다음과 같다.

<표 5-5> 영상 감시 시스템 구축 범위

구성	기능
정수장	• 취수 구조물, 약품 저장소, 여과 구역, 운영자실 등
펌프장	• 펌프실, 개폐기실, 출입문, 압력 제어 구역 등
경계 및 출입지점	• 울타리, 정문, 비상 출구 등
원거리 저수지 및 저장탱크	• 접근이 어렵거나 자주 방문하기 어려운 장소
제어실 내부	• 운영자 안전 및 공정 신뢰성 확보를 위한 내부 감시

3) 시스템 기능 및 통합

<표 5-6> 영상 감시 시스템 기능 및 통합

구성	기능
보안 감시	• 모든 중요 물리 자산에 대한 24시간 감시 • 무단 침입 발생 시 운영자 및 보안 요원에게 실시간 경보 전송
운영 상태 감시	• 펌프 작동, 밸브 개폐 상태, 장비 이상 여부를 영상으로 확인 • SCADA 명령 실행 전 원격 영상 검증 가능
증거 수집 및 이벤트 기록	• 사고 조사 및 유지관리 검증을 위한 고화질 영상 기록 보관
SCADA 및 네트워크 통합	• 카메라 영상과 경보를 기존 SCADA 또는 중앙 통합 제어 플랫폼에 연동 • 수리학적 지표, 수질 지표, 물리 보안 지표의 동기화된 통합 감시 실현
사이버보안 및 복원	• TLS/SSL 프로토콜 기반의 암호화된 데이터 전송 • 역할 기반 접근제어 및 영상 열람 이력 감사 기능 • 온사이트 및 클라우드/하이브리드 백업 기반 이중 저장 • 침입 감지 시스템 및 정전 알람과 통합

4) 기대효과

〈표 5-7〉 영상 감시 시스템 기대효과

분야	기대효과
인프라 보호	기물 파손 방지 및 침입 조기 대응
운영 효율성	현장 방문 감소, 실시간 공정 확인, 긴급 상황 신속 대응
안전 확보	밀폐 공간 및 고전압 구역 모니터링 강화
규제 준수	보건, 안전, 환경 사고에 대한 추적성 지원
스마트 유틸리티 기반	스마트 물관리 통합망 구축을 위한 기반 계층 형성

다. 급수망 통합 제어시스템 구축

- 급수망에 통합 제어시스템(ICS, Integrated Control System)을 구축하는 것은 스마트 물관리 비전 실현의 핵심이다. 급수 시스템은 정수처리시설과 최종 소비자를 연결하는 도시 수자원 인프라의 마지막이자 가장 광범위한 구성 요소이다. 이 시스템은 압력 변동, 누수, 무수율 저하(NRW), 노후관 등 다양한 운영상의 과제를 안고 있다.
- 통합 제어시스템은 ① 유량 및 압력의 실시간 모니터링, 분석 및 제어, ② 운영 효율성과 누수 탐지 기능 개선, ③ 펌프 및 밸브의 작동 최적화, ④ 서비스 신뢰성, 수질, 인프라 수명 연장 보장 등을 수도사업자에 제공한다.

1) 시스템 아키텍처

- 급수망의 통합 제어시스템은 하드웨어, 소프트웨어, 통신 인프라로 구성되어 있으며, 이들 요소가 결합되어 네트워크를 중앙 집중식·원격·자동으로 관리할 수 있도록 한다. 이 시스템 아키텍처는 개폐루프 제어, 이벤트 자동 대응, 데이터 기반 최적화가 가능하다.

〈표 5-8〉 급수망 통합 제어시스템 구조

구성	기능
SCADA	• 실시간 감시 및 제어를 위한 중앙 소프트웨어
압력 및 유량 센서	• 네트워크의 주요 지점에 설치되어 수리학적 성능 모니터링
DMA 유량계(구역 계량 시스템)	• 소구역 흐름 분리 및 감시를 통한 NRW 및 누수 관리
RTU 또는 PLC	• 현장 장비와 중앙 시스템 간 명령 실행 인터페이스
전동 제어밸브 및 감압밸브(PRV)	• 원격 압력 및 유량 제어 가능
펌프장 제어기(VFD 포함)	• 실시간 수요 기반으로 펌프 운전 조절
통신 네트워크	• 광케이블, 셀룰러, LPWAN 또는 무선 메시망을 통한 데이터 전송

2) 필요 기능

〈표 5-9〉 급수망 통합 제어시스템 주요 기능

단계	내용
실시간 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> • 압력, 유량, 수질 지표(예: 잔류 염소, 탁도), 펌프 상태 등에 대한 데이터 수집 • GIS 기반 대시보드를 통한 네트워크 성능 시각화
자동 및 원격 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 유량 균형 및 압력 제어를 위한 밸브 자동 조정 • 에너지 비용 절감 및 수격 작용 방지를 위한 원격 펌프 제어
누수 탐지 및 무수수량(NRW) 저감	<ul style="list-style-type: none"> • DMA 계량 및 유량 분석을 통한 이상 소비 또는 숨은 누수 탐지 • AI 기반 누수 탐지 시스템 및 음향 센서와의 통합 가능
수요 예측 및 압력 구역화	<ul style="list-style-type: none"> • 시간대 및 계절 수요 패턴에 따라 펌프 및 밸브 설정 조정 • 에너지 소비 및 배관 스트레스를 최소화하면서 안정적인 압력 유지
경보 및 이벤트 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 압력 강하, 저장고 범람, 잔류 염소 저하, 무단 침입 등에 대한 알람 제공 • 시스템 고장, 오염 위험, 사이버 보안 위협에 대한 조기 대응 지원

3) 구축 전략

〈표 5-10〉 급수망 통합 제어시스템 구축 방안

단계	내용
1단계: 현황 평가 및 계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 노드, 압력 구역, 고누수 구간, 기존 계측장비 식별 • 성과 지표(KPI) 설정(예: 적정 압력 범위, NRW 감소 목표 등)
2단계: 인프라 업그레이드	<ul style="list-style-type: none"> • 유량계, 압력 센서, 제어 밸브, 원격 측정 장비 설치 및 교체 • DMA를 디지털로 정의하고 필요 스마트 수도미터 설치
3단계: SCADA 및 제어 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 중앙 제어센터 구축(SCADA 소프트웨어&운영자 인터페이스) • 데이터 저장 서버 및 경보/이벤트 관리 도구 설정
4단계: 시험, 보정, 교육	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터 정확성 검증 및 원격 제어 시퀀스 테스트 • 운영자 및 유지관리 인력 대상 시스템 활용 및 비상 대응 교육
5단계: 최적화 및 확장	<ul style="list-style-type: none"> • 수집된 데이터 기반 압력 구역, 밸브 설정, 펌프 스케줄 최적화 • 스마트 미터링, AI 분석, 예측 모델링과의 통합 계획 수립

4) 기대효과 및 확산 영향

〈표 5-11〉 급수망 통합 제어시스템 기대방안

항목	기대효과
운영 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 자동화 및 원격 제어를 통한 에너지 사용량 및 인건비 절감
수손실 감소	<ul style="list-style-type: none"> • 누수 및 무단 사용 조기 탐지 및 신속 대응
고객 서비스	<ul style="list-style-type: none"> • 일정한 압력 유지 및 민원 대응 시간 단축
자산관리	<ul style="list-style-type: none"> • 관로 스트레스 및 노후 상태에 대한 실시간 가시성 확보로 유지보수 우선순위 지정
회복력 및 안전성	<ul style="list-style-type: none"> • 압력 강하, 오염 사고 등의 조기 식별 및 대응 향상

2. 상수도 관리를 위한 스마트 의사결정 시스템 도입

- 상수도 시스템의 운영 효율성, 회복력, 서비스 품질을 향상시키기 위해서는 스마트 의사결정 시스템의 도입이 필수적이다. 이 시스템은 원격 감시 및 제어 인프라에서 수집되는 실시간 데이터를 고급 분석 및 인공지능과 통합하여, 상수도 운영의 핵심 기능 전반에 걸쳐 자동화되고 데이터 기반의 의사결정을 지원한다.
- 의사결정 시스템은 운영자가 실시간으로 상태를 모니터링할 뿐만 아니라, 수질, 에너지 사용, 자산 성능, 고객 서비스와 관련된 운영을 예측, 진단, 최적화할 수 있도록 해준다. AI 기술과 디지털 통합 플랫폼을 도입함으로써, 상수도 운영은 반응적인 관리 방식에서 사전 대응적이고 최적화된 운영 모델로 전환된다.
- 이 이니셔티브는 원격 감시 및 제어 시스템과 수질 최적화, 에너지 관리, 이상 감지, 누수 제어, 무수수량(NRW) 저감, 스마트 요금징수, GIS 기반 자산관리 등 AI 기반 모듈을 연결하는 스마트 플랫폼 개발을 포함하며, 이는 진정한 스마트 물관리 유틸리티의 기반을 형성하게 된다.

가. 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 개발

- SCADA 및 원격단말장치(RTU)를 통해 수집된 데이터를 통합하는 중앙 집중형 스마트 플랫폼이 구축된다. 이 플랫폼은 실시간 네트워크 상태를 시각화하고, 시스템 간 통신을 가능하게 하여 자동화된 의사결정의 기반이 된다. 규칙 기반 로직과 AI 분석 기능을 통해, 운영자가 다양한 옵션을 평가하고 최적의 운영 전략을 실행할 수 있도록 지원한다.
- 스마트 의사결정 플랫폼은 정수장, 펌프장, 배수망 등에서 발생하는 운영 데이터를 통합하는 중앙 데이터 기반 인터페이스로, 주요 운영 지표들을 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있다. 예시 지표는 <표 5-12>와 같다.

<표 5-12> TM/TC 시스템과 연계된 스마트 의사결정을 위한 주요 지표 예시

구분	주요 항목 예시	구분	주요 항목 예시
수질	탁도, 잔류염소, pH 등	에너지 사용량	펌프 속도, 전력 소비 등
수리 성능	압력, 유량, 저장조 수위 등	정비 상태	펌프 고장, 밸브 위치, 알람 등

- 이러한 데이터 스트림을 통합된 디지털 환경으로 통합함으로써, 보다 신속하고 정확하며 일관된 의사결정이 가능해지며, 운영자는 반응적 문제 해결에서 벗어나 사전 예방적 시스템 최적화로 전환할 수 있다.

1) 핵심 기능

- 스마트 의사결정 플랫폼은 다음과 같은 핵심 기능들을 지원하며, 이는 효율성 및 신뢰성 향상뿐만 아니라 AI 및 데이터 분석의 일상적 적용을 가능하게 한다.

〈표 5-13〉 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 핵심 기능

기능	세부내용
실시간 시각화	• 시스템 상태, 경보, 주요 성능 지표(KPI)를 통합 대시보드로 제공
규칙 기반 자동화	• 특정 센서 값이나 시스템 이벤트에 대한 사전 정의된 반응 로직
AI 기반 추천	• 과거 데이터를 활용한 예측 분석 및 최적 운영 제안
시스템 간 통합	• 수질, 누수 탐지, 에너지 관리, 요금징수 시스템과의 연계
시나리오 시뮬레이션	• 가상 상황(What-if)을 통한 운영 또는 비상 시나리오 테스트
보고 및 규제 대응	• 성능, 유지보수, 규제 대응 보고서의 자동 생성

2) 플랫폼 아키텍처

- 스마트 의사결정 플랫폼은 다음과 같은 모듈형, 확장형 아키텍처로 구성되며, 사이버보안 프로토콜은 IEC 62443 및 NIST SP 800-82 지침에 따라 모든 계층에 적용된다.

〈표 5-14〉 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 구성

구조	내용
데이터 수집 계층	• 센서, RTU, PLC, SCADA 등과 연동하여 실시간 데이터 수집
분석 및 AI 계층	• 머신러닝, 수리 모델, 최적화 알고리즘을 통한 데이터 처리
응용 계층	• 시각화 툴, 운영자 대시보드, 모바일 친화형 인터페이스
데이터 관리 계층	• 히스토리 데이터, 이벤트, 자산 기록을 클라우드 또는 하이브리드 방식으로 저장
통합 계층	• GIS, 요금징수, 고객 포털 등 외부 시스템과의 API 및 미들웨어 연동

3) 구축 계획

- 스마트 의사결정 플랫폼의 성공적인 도입을 위해서는 체계적이고 단계적인 접근 방식이 필요하다. 각 단계는 이전 단계를 기반으로 하며, 초기 인프라 평가부터 운영 최적화까지 이어진다.

〈표 5-15〉 원격 감시 및 제어 시스템과 연계된 스마트 의사결정 플랫폼 구축 방안

단계	내용
평가 및 계획	• 기존 제어 시스템 평가, 성능지표(KPI) 정의
플랫폼 설계	• 플랫폼 아키텍처, 소프트웨어 모듈, 통합 프로토콜 선정
시스템 통합	• SCADA, 센서, AI 모듈을 플랫폼과 연동
테스트 및 보정	• 데이터 정확도, 경보 임계값, 사용자 워크플로우 검증
운영자 교육 및 시작	• 시스템 교육 제공, 실 운영 개시
지속적 개선	• 사용자 피드백 기반으로 플랫폼 기능 개선

나. 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 구축

- 인공지능(AI) 기반 수질 최적화 시스템의 도입은 스마트 물관리 전환을 위한 핵심 요소 중 하나이다. 규제 요건이 점차 강화되고, 수돗물의 안전성과 신뢰성에 대한 고객의 기대가 높아짐에 따라, 수도 사업자는 기존의 경험 중심 수작업 운영에서 벗어나 자동화되고 데이터 기반의 수질 관리 체계로 전환할 필요가 있다. 인공지능 기술을 활용함으로써 정수처리 효율성을 향상시키고, 규제 준수를 보장하며, 약품 사용량을 줄일 수 있다.
- AI 모듈은 탁도, 잔류 염소, pH, 전기전도도 등의 수질 인자를 실시간으로 분석하며, 최적의 약품 주입 전략, 여과 주기, 배관 플러싱(세척) 스케줄 등을 자동으로 제안하거나 실행한다. 이를 통해 규정 준수는 물론, 약품 사용을 최소화하고 다양한 지점에서의 수질 일관성을 향상시킬 수 있다.
- 또한, 실시간 및 과거 수질 데이터를 지속적으로 분석하여 운영 조정을 제안하거나 자동으로 실행할 수 있다. 여기에는 약품 주입량 조절, 여과기 역세척 주기 변경, 배관 세척 개시, 물의 체류시간 감소를 위한 펌프 운전 패턴 변경 등이 포함된다.
- 이 시스템은 예측 기반 통찰력을 제공함으로써, 운영자가 수질 문제에 선제적으로 대응할 수 있도록 돕는다.

1) 주요 기능

- 인공지능(AI) 기반 수질 최적화는 스마트 의사결정 플랫폼 및 SCADA 환경과 통합되어 〈표 5-16〉과 같은 핵심 기능을 지원한다.

〈표 5-16〉 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 주요 기능

기능	내용
실시간 데이터 분석	• 정수 및 배수 지점에 설치된 센서로부터 핵심 수질 인자 모니터링
AI 기반 최적화 모델	• 머신러닝 알고리즘을 활용, 수질 경향 예측,약품 주입 및 운영 조건 조정
자동 제어 통합	• AI 권장 사항을 기반으로 약품 주입기, 혼합기, 펌프 등에 제어 명령 전송
플러싱 및 블렌딩 전략	• 수도물 체류시간 및 염소 소모 감소를 위한 최적 플러싱 시점 및 위치 결정
이상 감지	• 오염 또는 센서 이상을 나타내는 비정상 수질 변동 탐지
규제 준수 지원	• 문서화 및 규정 준수 추적을 위한 자동 보고서 및 알림 생성

2) 시스템 아키텍처

- AI 모듈은 통합 제어 시스템 내의 계층적 구조로 구현되며, 다음과 같은 주요 계층으로 구성된다. 기존 PLC, 약품 주입 장비, SCADA 플랫폼과의 통합을 통해 원활한 제어 실행 및 성능 모니터링이 가능하다.

〈표 5-17〉 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 구성

구조	내용
데이터 입력 계층	• 온라인 수질 분석기, SCADA, 실험실 샘플 데이터를 실시간으로 수집
분석 및 예측 계층	• 과거 수질 데이터 및 운영 결과를 기반으로 학습된 머신러닝 모델을 적용
의사결정 지원 계층	• 운영자에게 조치 사항을 제안하거나 자동 실행을 트리거하는 인터페이스 제공
시각화 계층	• 운영자, 수질 관리자, 규제 담당자가 접근 가능한 대시보드 및 알림 제공

3) 구축 계획

- AI 기반 수질 최적화 시스템의 도입은 다음과 같은 단계를 통해 진행된다.

〈표 5-18〉 인공지능 기반 수질 최적화 시스템 구축 방안

단계	내용
1단계: 평가	• 기존 센서, 약품 주입 시스템, 규제 요구사항 검토
2단계: 모델 개발	• AI 학습을 위한 과거 수질 및 운영 데이터 수집 및 정제
3단계: 시스템 통합	• AI 모듈을 SCADA, 약품 주입 장치, 스마트 의사결정 플랫폼과 연계
4단계: 시범 운영	• 선정된 현장에서 AI 보조 운영과 수동 운영 병행 테스트 실시
5단계: 전면 도입	• 전체 네트워크로 확장하며, 폐쇄 루프 제어(closed-loop control)도 병행
6단계: 모니터링 및 피드백	• 성능 결과와 운영자 피드백을 기반으로 AI 모델 지속 개선

다. 인공지능 기반 에너지 최적화 시스템 구축

- 상수도 분야에서 취수 및 정수 공정은 전체 운영 비용의 최대 60%에 해당하는 에너지를 소비한다. 인공지능(AI) 기반 에너지 최적화 시스템은 이러한 에너지 사용량과 비용을 절감하면서도 수리적 성능과 서비스 신뢰성을 유지하는 것을 목표로 한다. 머신러닝 및 예측 분석 기법을 적용하여, 본 시스템은 펌프 운전 일정, 속도, 순서를 실시간 수요, 압력 조건, 전기 요금에 따라 동적으로 조정한다.
- 이 시스템은 수요 예측 및 요금 체계를 기반으로 AI 알고리즘을 활용해 펌프 운전 계획, 가변속 모터 제어, 에너지 소비 패턴을 최적화한다. 이를 통해 피크 시간대의 에너지 사용과 운영 비용을 줄이면서도 충분한 압력과 유량을 유지할 수 있다. 또한 SCADA 및 전력 계측 시스템과 통합되어 실시간 제어 및 지속적인 성능 개선을 지원한다. 이 시스템은 지속 가능하고 비용 효율적인 지능형 에너지 관리를 실현하는 데 중추적인 역할을 수행할 수 있다.

1) 주요 기능

- 이 AI 기반 에너지 최적화 시스템은 SCADA, 가변 주파수 구동장치(VFD), 수리 모델과 연동되어 다음과 같은 핵심 기능을 제공한다.

〈표 5-19〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 주요 기능

기능	내용
실시간 수요 예측	• 과거 수요 패턴, 기상 데이터, 계절 변화 등을 활용하여 단기 수요 예측 수행
동적 펌프 스케줄링	• 펌프의 운전 시점 및 속도를 최적화하여 에너지 비용 최소화
전기요금 기반 최적화	• 시간대별 전력 요금에 따라 운영을 조정하여 요금 절감
펌프 효율 모니터링	• 각 펌프의 최적 효율점(BEP) 대비 성능을 추적하고 노후화 감지
자동 제어 통합	• AI가 생성한 운전 스케줄을 VFD 및 제어 시스템에 자동 전송
에너지 분석 및 보고	• 유량 당 비용 포함 일/주/월 단위 에너지 성과 보고서 생성

2) 시스템 아키텍처

- AI 기반 에너지 최적화 시스템은 기존 SCADA 및 VFD 시스템과 원활하게 통합될 수 있는 모듈형 아키텍처로 설계된다.
 - ISA/IEC 62443 기준에 따라 역할 기반 접근 제어, 암호화 전송 등 사이버보안 프로토콜이 모든 계층에 적용된다.

〈표 5-20〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구성

구조	세부내용
입력 계층	• 유량, 압력, 저장조 수위, 펌프 상태, 에너지 계측기 등의 실시간 데이터 수집
AI 엔진 계층	• 최적화 알고리즘 및 예측 모델을 활용하여 에너지 절감 운전계획 생성
제어 실행 계층	• SCADA 및 PLC에 최적 운전 설정값 전송
시각화 계층	• 에너지 사용, 비용, 효율성 관련 KPI 및 대시보드 제공
이력 분석 모듈	• 장기계획 수립과 AI 모델 개선을 위한 데이터 저장

3) 구축 계획

- AI 기반 에너지 최적화 시스템은 기술적 타당성, 운영자 교육, 투자 수익률을 고려한 단계별 전략으로 구축된다.

〈표 5-21〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구축 방안

단계	세부내용
1단계: 기준선 평가	• 현재 에너지 소비량, 펌프 운전 방식, 전력 요금 구조 분석
2단계: 데이터 획득 설정	• SCADA, VFD, 에너지 계측기 및 데이터 저장 시스템 통합
3단계: AI 모델 개발	• 과거 수요 및 펌프 운전 데이터를 기반으로 머신러닝 모델 학습
4단계: 파일럿 운영	• 1~2개 펌프장에 시스템 적용하여 성능 검증 수행
5단계: 전체 확대	• 모든 펌프장으로 시스템 확장 및 지속적인 운영자 교육
6단계: 지속적 최적화	• 실시간 성과 지표 및 피드백 기반으로 AI 파라미터 조정

라. 인공지능 기반 이상 감지 시스템(누수, 설비 이상 등) 구축

- 누수, 관로 파열, 압력 저하, 설비 고장 등과 같은 이상 상황을 신속하게 식별하는 것은 수도 서비스의 신뢰성, 안전성, 경제성을 확보하는 데 핵심적이다. 인공지능 기반 이상 감지 시스템은 압력 센서, 유량계, 에너지 모니터링 장치, 운영 로그 등에서 수집되는 데이터를 실시간으로 분석함으로써 이러한 이상 징후를 탐지할 수 있도록 설계되었다.
- AI 알고리즘은 과거 및 실시간 데이터를 기반으로 정상 패턴을 학습하고, 정상 범위를 벗어난 상태를 자동으로 탐지해 경고를 전송함으로써 사전 조치, 예방 정비, 서비스 중단 최소화를 가능하게 한다. 이를 통해 기존의 사후 정비 중심 운영을 예측 기반 유지관리 체계로 전환할 수 있다.
- 이러한 시스템은 고급 이상 감지 모델을 활용하여 유량, 압력, 진동, 에너지 소비 패턴의

이상 징후를 식별하고, 누수나 밸브 고장, 펌프 성능 저하를 조기에 발견한다. 실시간 경고와 대응 권고는 예방 정비를 유도하고, 누수로 인한 손실을 줄이며, 긴급 수리 비용을 절감할 수 있다.

1) 주요 기능

- 인공지능 기반 이상 감지 시스템은 기존 센서, SCADA 플랫폼, 데이터 기록 시스템과 통합되어 다음과 같은 핵심 기능을 수행한다.
 - 이와 같은 지능형 모니터링 기능은 예방 정비 및 긴급 대응 체계 강화에 기여한다.

〈표 5-22〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 기대방안

기능	내용
실시간 패턴 인식	• 압력, 유량, 진동, 에너지 신호를 실시간 분석, 정상 패턴에서 벗어나는 이상 탐지
누수 탐지 및 위치 추정	• DMA 유량 불균형, 압력 저하, 음향 데이터 등을 기반으로 누수 발생 가능 위치 탐지
설비 고장 예측	• 펌프, 밸브, 모터 등의 이상 징후를 작동 상태 및 에너지 소비 패턴으로부터 조기 식별
오경보 필터링	• 펌프 기동, 플러싱과 같은 예상 가능한 운영 변동과 이상 상황을 구분하여 정확도 향상
자동 경보 시스템	• 이상 탐지 시 심각도 등급과 대응 권고 사항을 포함한 실시간 알림을 운영자 및 정비팀에 전송
이상 이력 기록 및 분석	• 이상 이벤트를 기록하여 분석, 보고서 작성, AI 모델 지속 개선에 활용

2) 시스템 구조

- 이상 감지 시스템은 스마트 의사결정 플랫폼 내의 지능형 계층으로 구축되며, 과거 및 실시간 데이터를 활용한다.
 - 모든 구성요소에 대해 국가 지침 및 국제 표준(예: ISA/IEC 62443, NIST SP 800-82)에 따라 사이버보안 및 개인정보 보호조치가 적용된다.

〈표 5-23〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구조

구조	내용
데이터 입력 계층	• 압력 센서, 스마트 수도미터, 유량계, 펌프 모니터, SCADA 로그 등의 연속적인 데이터 스트림 수집
AI 분석 엔진	• 시계열 이상 탐지, 클러스터링, 분류 등 머신러닝 기법을 적용해 비정상 패턴 탐지
시각화 및 알림 계층	• 대시보드에 이상 정보 표시, SMS, 이메일, SCADA를 통한 실시간 경보 발송
통합 계층	• 유지보수 관리 시스템과 연계되어 작업 지시서 발행, 현장 점검팀 자동 배치 가능

3) 구축 계획

- 이상 감지 시스템은 단계별 구현 전략을 통해 데이터 신뢰성 확보, 운영자 수용성 증대, 전체 시스템 확산을 도모한다.

〈표 5-24〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 구축 방안

단계	세부내용
1단계: 데이터 진단	• 센서 설치 범위, 데이터 품질, 과거 이력 점검
2단계: 모델 학습	• 과거 이상 사례 및 정상 운영 데이터를 기반으로 머신러닝 모델 훈련
3단계: 시범 운영	• 특정 DMA 또는 펌프장에서 시스템 시범 적용 및 성능 검증
4단계: 전체 통합	• SCADA, 모바일 경보 시스템, 정비 일정 관리 플랫폼과 연계
5단계: 운영자 교육	• 제어센터 및 현장 직원 대상 이상 해석 및 대응 교육
6단계: 지속 학습	• 실제 적용 결과와 신규 데이터를 반영하여 AI 모델 성능 지속 향상

4) 기대효과

- AI 기반 이상 감지 시스템 도입은 이상 상황을 조기에 탐지하고 사고 대응을 자동화함으로써 실질적인 운영 및 경제적 효과를 창출할 수 있다. 이는 수도 서비스의 효율성, 신뢰성, 고객 만족도 향상에 직접적으로 기여할 수 있다.

〈표 5-25〉 인공지능 기반 이상 감지 시스템 기대방안

항목	기대효과
누수 대응 시간	• 누수 및 파열의 조기 감지 및 위치 확인 속도 향상
자산 상태 모니터링	• 펌프 또는 밸브 성능 저하의 조기 식별
무수수량(NRW)	• 간헐적 또는 은닉 누수의 신속한 탐지를 통한 손실 감소
정비 효율성	• 사후 정비에서 상태 기반 정비로의 전환 유도
서비스 신뢰성	• 계획되지 않은 서비스 중단 감소 및 고객 만족 향상

- AI 기반 이상 감지 시스템은 예측 정비 및 인프라 복원력 확보의 핵심 도구이다. 단순 센서 데이터를 의미 있는 실행 정보로 전환함으로써 수도사업자는 고장을 사전에 방지하고, 정비 일정을 최적화하며, 자산의 수명을 연장할 수 있다.
- 또한, 이러한 시스템은 수질 최적화, 에너지 관리, 자산 지도화와 같은 다른 스마트 모듈과 통합되어, 전사적 자동화 및 지능형 운영 체계의 완성도를 높이고, 장기적인 지속가능성과 운영 효율을 실현하는데 기여하는 것이 중요하다.

마. DMA 모니터링 및 무수수량(NRW) 관리 시스템 구축

- 수도사업자가 직면한 가장 시급한 과제 중 하나는 높은 NRW 수준이다. 이는 실질 손실(예: 누수, 관 파열), 명목 손실(예: 수도미터 오차, 무단 사용), 무청구 사용량을 모두 포함한다. 이러한 손실을 효과적으로 모니터링, 위치 파악 및 감축하기 위해, 수도사업자는 DMA(소구역 계량관리) 기반 모니터링 및 NRW 관리 시스템을 구축하여야 한다.
- DMA란 공급 네트워크 내에서 유량과 소비량을 정확히 측정 및 분석할 수 있도록 정의된 수압 독립 구역을 의미한다. 공급 지역을 DMA 단위로 나누고 센서 및 데이터 로거를 설치함으로써, 누수 지역을 식별하고 물 수지(Water Balance)를 추적할 수 있어 목표 유수율 관리가 용이해진다.

[그림 5-2] 디지털 유량 및 설치 전경



- DMA는 디지털로 정의되며, 유량 및 압력 센서가 설치되어 지속적으로 상태를 모니터링한다. 시스템은 공급 유량과 소비량의 패턴을 분석하여 손실을 산정하고 높은 NRW 구역을 식별한다. 또한 누수 탐지 도구 및 자산관리 플랫폼과 연계하여, 효율적인 NRW 저감 전략과 성과 기반 평가를 지원할 수 있다.

[그림 5-3] 스마트 수도미터



1) 주요 기능

- DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템은 스마트 의사결정 플랫폼의 핵심 구성 요소로 구현되며, 다음과 같은 기능을 포함한다.

〈표 5-26〉 DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 주요 기능

기능	세부내용
DMA 정의 및 매핑	• 유압 모델링과 GIS를 활용해 공급 네트워크를 명확한 구역(DMA)으로 구분
유량 및 압력 모니터링	• DMA 경계지점에 센서를 설치해 유입·유출 유량과 압력을 실시간으로 측정
수지균형 분석	• 공급량과 청구량을 자동 비교해 실질 및 명목 손실량 산정
누수 탐지 및 우선순위 설정	• 유량 프로파일, 압력 트렌드, 야간 유량 분석을 통해 누수 발생 가능 지역 식별
성과 벤치마킹	• DMA별 NRW 수준을 추적하고, 손실 규모 및 정비 긴급도에 따라 등급화
누수 및 자산관리 통합	• 스마트 누수 탐지 시스템 및 GIS 기반 자산관리 시스템과 연계하여 대응 속도 및 유지관리 효율 향상

130

2) 시스템 구현을 위한 아키텍처

- DMA 시스템은 다음과 같은 기술 구성요소를 통해 구축된다. 해당 시스템은 스마트 의사결정 플랫폼과 완전 통합되어, 운영, 재무, 자산관리 영역에서의 동적 의사결정을 가능하게 한다.

〈표 5-27〉 DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 구성

구조	세부내용
경계 계측 인프라	• DMA 입·출구 지점에 고정밀 유량계 및 압력 센서 설치
원격 통신 장치(RTU)	• 센서 데이터를 중앙 SCADA 또는 클라우드 시스템으로 전송
데이터 분석 플랫폼	• AI 기반 수지균형 분석, 이상 감지, 누수 우선순위 도출 알고리즘
GIS 통합	• DMA 성능, 배관 노후도, 유지보수 이력의 공간 시각화
모바일 도구	• 현장 점검, 수리 기록, DMA 기반 작업 지시를 위한 앱 제공

3) 구축 절차

- DMA 시스템은 다음과 같은 단계적 접근을 통해 효과적이고 확장 가능한 방식으로 구현될 수 있다.

〈표 5-28〉 DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 구축 절차

추진 단계	세부내용
1단계: 네트워크 진단	• 네트워크 구성, 유량 경로, 현재 NRW 수준 평가
2단계: DMA 설계 및 장비 계획	• 유압 모델링 기반 DMA 경계 설정, 센서 종류 및 위치 결정
3단계: 계측 인프라 설치	• 유량계, 압력 센서, RTU 등 DMA 경계 지점에 설치
4단계: 데이터 통합 및 교정	• 장비를 SCADA/분석 플랫폼과 연결 및 데이터 정확성 검증
5단계: 모니터링 및 최적화	• 데이터를 기반으로 누수 탐지, DMA 비교, 정비 우선순위 결정
6단계: 성과 평가 및 확장	• DMA 구역 정의 조정 및 성과 기반 신규 구역 확장

4) 기대효과

- DMA 기반 모니터링 시스템 도입은 수도사업자의 유수율 성과 향상에 효과적이며 쉽게 확대할 수 있는 주요 전략 중 하나이다. 주요 효과는 아래 〈표5-29〉와 같다.

〈표 5-29〉 DMA 모니터링 및 NRW 관리 시스템 기대효과

항목	세부내용
누수 탐지 및 저감	• 고손실 지역 조기 탐지 및 누수 발생 조기 경보
NRW 관리	• 실질 및 명목 손실의 지속적 추적 및 저감 가능
운영 효율성	• 정비 자원의 효율적 배분 가능
고객 만족도	• 서비스 중단 감소, 수압 안정성 향상
재정 지속 가능성	• 생산비용 절감 및 수익 회수율 향상

- DMA 구축 및 모니터링은 지능형 물 관리 운영의 핵심 기반이다. AI를 이용한 이상 감지, 누수 관리, GIS 자산 관리 등과 통합되면 이상 발생된 지역을 선별할 수 있도록 구역을 좁힐 수 있고 그에 대한 영향을 수치화하여 정밀한 대응을 가능하도록 지원할 수 있다.
- 또한 DMA 시스템이 생성하는 데이터는 투자 우선순위에 대한 도출, 노후 인프라 교체 전략 수립, 대국민 책임성 확보에 필요한 근거 자료로 활용될 수 있다.
- 따라서, DMA 모니터링 및 NRW 관리 역량을 구축하는 것은 스마트 물관리 체계의 일환으로 장기적 운영 회복력, 고객 신뢰, 재정 안정성의 토대를 마련하는 것이다.

바. 스마트 요금 관리 시스템(Smart Billing Management System) 구축

- 정확하고 투명하며 효율적인 요금 청구는 수도사업자의 재정적 지속가능성을 위한 핵심 요소이다. 그러나 기존의 청구 시스템은 수동 검침, 종이 청구서 및 지연 납부 등에 의존해 왔으며, 이는 운영 비효율, 수익 손실, 고객 불만족을 초래해왔다.
- 스마트 요금 관리 시스템은 이러한 문제를 해결하고자 원격 검침 인프라(AMI), 자동 청구 시스템, 디지털 커뮤니케이션 플랫폼 등을 통합한 인프라이며 실시간 소비 추적, 유연한 청구 옵션, 수도요금 납부 여건 향상 등을 가능하게 한다.
- 스마트 요금 관리를 도입함으로써 수도사업자는 수동적 청구 시스템에서 벗어나 데이터 기반의 선제적이고 능동적인 고객관리 체계로 전환하게 되어 스마트 유틸리티 운영을 실현을 앞당길 수 있다.

1) 주요 기능

- 스마트 요금 관리 시스템은 수도사업자의 운영성과 고객 서비스를 동시에 강화할 수 있는 다양한 기능을 제공한다.

〈표 5-30〉 스마트 요금관리 시스템 주요 기능

기능	세부내용
실시간 계량 데이터 수집	• AMI와 연동하여 시간 단위 또는 일 단위로 소비 데이터를 수집
자동 청구 엔진	• 실시간 소비 데이터 및 요금 체계에 기반한 정확한 요금 청구
이상 소비 탐지 및 경고	• 갑작스러운 소비 급증 또는 누수 의심 시 고객에게 알림 전송
고객 포털 통합	• 고객이 온라인으로 사용량 조회, 청구서 다운로드, 납부 가능
유연한 청구 및 납부 옵션	• 계단식 요금제, 선불제, 분할 납부, 모바일 결제 지원
분석 및 보고 기능	• 요금 징수 성과, 수익 추세, 연체 관리 등에 대한 대시보드 및 리포트 제공

2) 시스템 구현을 위한 아키텍처

- 스마트 요금 시스템은 스마트 물관리 플랫폼의 일부로서 계량, 재무, 고객 서비스 시스템과 연동된다.
 - 해당 시스템은 관련 사이버 보안 및 개인정보 보호 규정에 따라 데이터 암호화 및 접근 통제가 적용되어야 한다.

〈표 5-31〉 스마트 요금관리 시스템 구성

구조	세부내용
수도미터 인터페이스	• AMI 수도미터, 데이터 로거, 휴대형 검침기와 연동
청구 및 요금 엔진	• 실시간 또는 누적 데이터를 기반으로 계절 및 계단식 요금 적용
고객정보시스템(CIS)	• 고객 계정, 연락처, 청구 이력 관리
웹 및 모바일 포털	• 고객이 요금 데이터, 사용량 패턴, 결제 플랫폼, 서비스 요청에 접근 가능
알림 시스템	• SMS나 이메일을 통해 자동 리마인더, 요금 알림, 누수 경고 발송
ERP/재무 시스템 연동	• 회계처리, 수금 관리, 감사 보고 지원

3) 구축 절차

- 스마트 요금 시스템은 신뢰성 확보 및 사용자 수용성 향상을 위해 아래와 같이 단계적으로 도입하는 것이 요구된다.

〈표 5-32〉 스마트 요금관리 시스템 구축 절차

추진단계	세부내용
1단계: 시스템 진단	• 기존 요금, 계량, 고객 서비스 인프라 검토
2단계: AMI 및 IT 통합	• 수도미터, SCADA, 청구 엔진, 고객 DB 간 인터페이스 구축
3단계: 시범 운영	• 특정 서비스 지역에 시스템 도입 후 테스트 및 피드백 수렴
4단계: 전체 구현	• 전체 서비스 지역으로 확대 적용; 웹 및 모바일 포털 오픈
5단계: 교육 및 지원	• 수도사업자 직원 교육 및 고객 대상 홍보/교육 수행
6단계: 성과 모니터링	• KPI 추적 및 요금 논리·서비스 기능 지속 개선

4) 기대효과

- 스마트 요금 시스템은 수도사업자의 운영 성과와 고객 참여도를 동시에 개선이 가능하며, 주요 성과는 〈표5-33〉에 제시된다.

〈표 5-33〉 스마트 요금관리 시스템 기대효과

항목	세부내용
데이터 기반 청구 정확도	• 실시간 계량정보에 기반한 정밀 청구로 신뢰도 향상
수익 개선	• 요금 회수율 증가 및 연체 감소
고객 만족도 제고	• 투명한 사용 정보 제공, 다양한 결제 수단 제공
운영 효율성	• 수작업 감소, 종이 청구서 절감, 인력 효율화
지속 가능한 재정	• 요금 회수 체계 강화 및 수익 안정화

- 스마트 요금 관리 시스템은 디지털 고객 참여와 재정 회복력을 실현하는 데 있어 핵심 도구이다. 이는 계량, 분석, 고객 상호작용, 재무 시스템을 통합된 디지털 플랫폼으로 연결되어, AI 기반 이상 감지, NRW 관리, GIS 기반 자산 관리와 결합하면 운영 효율성과 고객 중심 투명성 간의 선순환을 완성할 수 있다. 이 시스템의 도입은 NRW 저감, 요금 회수, 데이터 기반 거버넌스라는 광범위한 목표 실현이 가능토록 지원하고 스마트 물 인프라 구축을 위한 국제적 경향에 부합한다.

사. 스마트 누수 관리 시스템 구축

- 수도물 누수는 NRW의 주요 원인 중 하나로 수도사업자의 운영 비효율성을 초래한다. 전통적인 누수 탐지 방식은 수작업 검사와 민원 신고에 크게 의존하고 있으며, 이는 대응 지연과 물 손실 증가로 이어진다. 스마트 누수 관리 시스템(Smart Leak Management System)은 실시간 데이터, 압력 분석, 음향 센싱, 인공지능(AI)을 활용하여 누수를 신속하고 정확하게 탐지하고 대응하는 선제적 기술 기반 접근 방식을 추구한다.
- 이 시스템은 누수 탐지를 스마트 의사결정 체계에 통합함으로써 수동적 누수 복구에서 벗어나 예측적·예방적 누수 관리로 전환하고, 그 결과 물 손실, 에너지 낭비, 유지보수 비용을 크게 줄일 수 있다.

1) 주요 기능

- 스마트 누수 관리 시스템은 하드웨어, 소프트웨어, AI 기반 분석으로 구성되어 있으며, 핵심 기능은 <표5-34>와 같다.

<표 5-34> 스마트 누수 관리 시스템 주요기능

기능	세부내용
실시간 압력 모니터링	• 급격한 압력 강하를 탐지하여 파열 또는 진행 중인 누수를 식별
DMA 기반 유량 분석	• 지구 계량 구역(DMA)에서 기대 유량과 실제 유량 비교로 손실 정량화
음향 센싱 통합	• 고정형 또는 이동형 음향 기록 장치로 지하 관로 누수 소음을 탐지
AI 기반 누수 예측	• 과거 누수 추세, 토양 조건, 관로 노후도 등을 기반으로 고위험 지역 예측
위성 및 적외선 누수 스캔	• 위성 영상이나 열화상 드론을 활용한 지중 습기 이상 탐지(선택 사항)
작업지시 및 복구 추적	• 자산 및 유지보수 시스템과 연동하여 복구 일정 관리 및 작업 기록화

2) 시스템 구현을 위한 아키텍처

- 스마트 누수 관리 시스템은 수도사업자의 스마트 물관리 플랫폼의 통합 모듈로 구축되며, 다음과 같은 계층 구조를 갖는다. 이러한 여러 계층의 구조는 누수 모니터링, 분석, 현장 대응 등을 지원할 수 있다.

〈표 5-35〉 스마트 누수 관리 시스템 구조

구조	세부내용
센서 계층	• 네트워크 전역에 설치된 압력 센서, 음향 로거, AMI 수도미터
데이터 수집 계층	• 텔레메트리 유닛 및 게이트웨이를 통해 실시간 데이터 수집 및 전송
AI 분석 및 엔진 계층	• 통계 및 기계학습 모델을 활용하여 누수 신호 및 위험 지역 식별
시각화 및 경보 계층	• GIS 대시보드를 통해 누수 핫스팟 시각화, 통제 센터에 자동 알림
복구 관리 계층	• 작업지시 시스템과 연동하여 현장 인력 배치 및 복구 결과 기록

3) 구축 절차

- 스마트 누수 관리 시스템은 다음과 같은 단계적 전략을 통해 도입 및 고도화되어야 한다.

〈표 5-36〉 스마트 누수 관리 시스템 구축절차

추진 단계	세부내용
1단계: 현황 평가	• 현재 누수 수준, 복구 소요 시간, 센서 커버리지 지도화
2단계: 장비 설치	• 우선 지역에 압력 센서, 음향 장비, 텔레메트리 장치 배치
3단계: AI 모델 학습	• 과거 누수 데이터를 활용한 이상 탐지 및 위험 예측 모델 훈련
4단계: 플랫폼 통합	• 누수 탐지 시스템을 SCADA, GIS, 유지보수 시스템과 연동
5단계: 현장 검증	• 탐지 알림 테스트 및 현장 검사로 정확도 검증

4) 기대효과

- 스마트 누수 관리 시스템은 신속하고 정확하며 비용 효율적인 누수 탐지 및 복구를 가능하게 하며, 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

〈표 5-37〉 스마트 누수 관리 시스템 기대효과

항목	기대효과
누수 탐지 속도	• 누수 발생부터 탐지까지의 시간 대폭 단축
복구 효율성	• 복구 반응 시간 단축, 고손실 누수의 우선 처리
무수수량 감소	• 조기 개입을 통한 시스템 손실 최소화
자산 수명 연장	• 수압 변동 감소 및 수충격 완화로 관로 스트레스 감소
고객 만족도 향상	• 단수 등 서비스 장애 감소, 수압 안정성 향상

- 스마트 누수 관리 시스템은 물리적 손실 저감과 기반 시설 회복력 향상의 중심적인 역할을 수행한다. 현장 기술, 데이터 분석, AI를 결합하여 관망 네트워크 전반의 누수를 체계적으로 관리할 수 있게 한다. 또한, DMA 모니터링, 자산 관리, 이상 탐지 시스템과 결합하여, 스마트 워터 유틸리티 운영의 핵심 기반을 형성한다. 무수수량 최소화와 효율적 자원 배분을 실현함으로써 재정 지속가능성, 환경 책임성, 고객 신뢰 구축이라는 목표 달성에 기여할 수 있다.

아. GIS 기반 자산 관리 시스템 구축

- 수도사업자는 광범위한 지리적 영역에 걸쳐 설치된 노후 인프라(예: 배관, 밸브, 펌프, 배수지, 수도미터, 정수/처리시설 등)를 관리해야 한다. 그러나 Excel 등을 이용한 관리대장이나 단절된 시스템을 활용한 전통적 자산 관리는 비효율성, 복구 지연, 자본 계획 부실을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수도사업자는 GIS(지리정보시스템) 기반 자산 관리 시스템을 구축이 요구된다. 이 시스템은 모든 수도 인프라를 공간 정보 기반으로 디지털 맵핑, 모니터링, 분석함으로써 운영 최적화와 예측 유지보수를 가능하게 한다. 또한, 데이터 기반의 계획, 예측 유지보수, 현장 운영의 통합 조정을 지원하여 스마트 물관리 의사결정 체계의 핵심 구성 요소가 된다.

1) 주요 기능

- GIS 기반 자산 관리 시스템은 공간 데이터와 자산 상태, 운영 데이터를 통합하며 <표5-38>과 같은 주요 기능을 제공한다.

<표 5-38> GIS 기반 자산 관리 시스템 주요기능

기능	세부내용
지리정보 기반 자산 맵핑	• 지상 및 지하 자산을 정확한 좌표로 디지털 지도화
자산 상태 및 이력 관리	• 자산의 설치 연도, 재질, 유지보수 이력, 성능 등급 기록
고장 위험 분석	• 위치, 사용량, 상태, 환경 노출 등을 바탕으로 고위험 자산 식별
유지보수 및 작업지시 관리	• 점검 및 수리 일정 수립, 현장 출동, 작업 추적 기능 제공
타 시스템과 연계	• SCADA, 누수 탐지, 요금 청구, 고객 서비스 시스템과 연동
자본계획 지원	• 자산 수명주기 비용 분석, 갱신 예측, 투자 우선순위 결정 지원

2) 시스템 구현을 위한 아키텍처

- 해당 시스템은 다양한 유틸리티 하위 시스템과 연동되는 다계층 구조로 구축되며 구성은 다음과 같다. GIS 기능은 Esri ArcGIS 등의 기업용 플랫폼 또는 오픈소스 대안으로 구현되며, 예산과 호환성에 따라 선택될 수 있다.

〈표 5-39〉 GIS 기반 자산 관리 시스템 구조

구조	세부내용
공간 데이터 계층	• 기본 지도, 관로 경로, 자산 위치, 토지 이용, 지형 등
자산 등록 계층	• 자산 ID, 사양, 설치일, 상태 점수 등을 포함하는 데이터베이스
통합 계층	• SCADA, 유지보수 시스템, 고객 서비스 플랫폼, 스마트 수도미터와 연동 API
분석 및 대시보드 계층	• 자산 성능, 위험 지역, 갱신 일정 등을 시각화하는 도구
모바일 인터페이스	• 현장 자산 확인, 유지보수 기록, 실시간 업데이트용 현장 앱 제공

3) 구축 절차

- GIS 기반 자산 관리 시스템은 데이터 품질 확보, 직원 교육, 시스템 사용성 확보를 위해 단계적이고 확장 가능한 전략으로 구축되어야 한다.

〈표 5-40〉 GIS 기반 자산 관리 시스템 구축절차

추진 단계	세부내용
1단계: 데이터 수집 및 검증	• 모든 자산을 조사 및 디지털화, 위치 및 속성 정보 정확성 확인
2단계: GIS 플랫폼 설정	• 자산 뷰어 및 편집을 위한 기본 지도, 계층, 인터페이스 구성
3단계: 유틸리티 시스템 통합	• GIS를 SCADA, 유지보수 기록, 고객 서비스 플랫폼과 연동
4단계: 직원 교육 및 업무 프로세스 정비	• 작업지시, 점검, 정보 업데이트 절차 정비 및 사용자 교육
5단계: 시범 지역 운영	• GIS 기반 자산 관리 시스템 운영 및 정밀화
6단계: 전면 확대 및 최적화	• 전 서비스 지역으로 확대 및 자산 상태 모니터링 지속 반영

4) 기대효과

- GIS 기반 자산 관리 시스템은 운영, 재정, 전략적 측면에서 다음과 같은 광범위한 효과를 제공할 수 있다.

〈표 5-41〉 GIS 기반 자산 관리 시스템 기대효과

항목	기대효과
운영 효율성	• 현장 작업, 점검, 수리의 효율적 조율
자산 신뢰성 향상	• 노후 자산 및 취약 자산의 선제적 교체
비용 절감	• 계획적 유지보수를 통한 긴급 복구 비용 감소, 자산 수명 연장
데이터 기반 자본 계획	• 자산 위험도와 상태 평가에 기반한 투자 우선순위 설정
투명성 및 보고 체계 개선	• 규제기관 보고 및 대국민 책임성 제고에 용이

- GIS 기반 자산 관리 시스템은 수도 인프라에 대한 디지털 기반 지능형 관리 체계의 중추로서 자산의 위치, 상태, 성능 정보를 통합 플랫폼에서 제공하며, 운영 판단 및 장기 투자 전략 수립을 지원한다. 또한, AI 기반 누수 탐지, 에너지 최적화, 고객 서비스 시스템과 연동될 때 조정력, 위험 대응력, 시스템 회복력을 크게 향상시킨다.
- GIS 시스템을 통해 수도사업자는 부분적인 인프라 관리 체계에서 벗어나, 중앙 집중형/예측기반/투명한 자산 거버넌스 체계로 나아갈 수 있으며, 이는 글로벌 스마트 물관리 모범 사례와도 일치한다.

3. 스마트 물관리 현대화

가. 스마트 약품 주입 및 혼합 설비

- 현대 정수처리 시스템에서는 일관된 수질 유지, 규제 준수, 비용 효율성을 보장하기 위해 정밀하고 적응 가능한 약품 관리가 필수적이다. 기존의 약품 주입 방식은 대부분 수동 설정값이나 고정된 일정에 기반하여 운영되며, 원수 수질, 유량, 시스템 수요의 변화에 민감하게 반응하지 못하는 한계를 가진다. 이로 인해 과도 주입 또는 과소 주입, 수질 변화에 대한 지연 대응 등이 발생할 수 있다.
- 이러한 문제를 해결하기 위해 스마트 약품 주입 및 혼합 설비의 도입은 정수처리 현대화의 핵심 과제로 간주된다. 이 시스템은 실시간 모니터링, 자동 제어, AI 기반 최적화 알고리즘을 활용하여 약품 주입률을 동적으로 조정하고, 전 처리 과정에 걸쳐 균일한 혼합을 보장한다.

1) 주요 기능

- 스마트 약품 주입 및 혼합 시스템은 아래 표와 같이 센서, 자동화 기술, 분석 도구를 통합하여 처리 과정의 정밀성과 반응성을 향상시킨다.

〈표 5-42〉 스마트 약품주입 설비 주요기능

기능	세부내용
실시간 수질 모니터링	• 탁도, pH, 잔류염소, 유량 등 주요 수질 인자 지속적으로 측정
자동 주입 제어	• 센서 계측값 기반 PLC 및 SCADA 시스템과 연동, 주입 펌프 실시간 제어
AI 기반 최적화 알고리즘	• 기계학습 모델을 통해 다양한 조건에서 약품 수요를 예측하고 최적 주입량 추천
지능형 혼합 시스템	• 고급 혼합 기술을 통해 약품이 균일하게 분산, 낭비 감소 및 처리 효과 상승
알람 및 경고 기능	• 주입 이상, 약품 고갈, 비정상 수질 변화 발생 시 운영자에게 스마트 경고 전달
데이터 로깅 및 보고	• 운영 데이터 저장 및 규제 보고, 성과 추적, 지속적 개선에 활용할 수 있도록 함

2) 구축 절차

- 스마트 약품 주입 및 혼합 시스템을 성공적으로 도입하기 위해서는 기존 처리 시스템과의 적절한 통합, 주입 정확성의 검증, 운영 인력 교육을 포함한 단계별 접근이 요구되며 아래 표와 같이 진행될 수 있다.

〈표 5-43〉 스마트 약품주입 설비 구축절차

추진 단계	세부내용
1단계: 현황 분석 및 기초 조사	• 현재 약품 주입 방식, 사용 패턴, 공정 변화 특성 평가
2단계: 센서 및 제어 시스템 설계	• 적합한 수질 센서, 주입 펌프, PLC, 데이터 통합 도구 선정
3단계: 장비 설치 및 보정	• 주요 지점 실시간 센서 및 자동 주입 장비 설치 및 보정
4단계: AI 모델 설정 및 테스트	• 약품 예측 및 적응 제어를 위한 AI 알고리즘 개발 및 검증
5단계: 운영자 교육 및 시스템 가동	• 시스템 사용법, 알람 대응, 유지보수, 비상 대응에 대한 교육 실시 및 실제 운영 시작
6단계: 모니터링, 평가 및 조정	• 시스템 성능을 지속적으로 모니터링하고 설정을 최적화하며 AI 모델을 최신 상태로 유지

3) 기대효과 및 전략적 가치

- 스마트 약품 주입 및 혼합 시스템은 운영 효율성, 규제 준수, 환경 지속가능성 측면에서 다음과 같은 실질적인 개선 효과를 제공한다.
 - 스마트 약품 주입 및 혼합 설비는 지능형, 데이터 기반 정수처리 시스템으로의 전환을 위한 핵심 기반 기술이다. 약품 관리 공정은 정수처리 전 과정 중 가장 초기이면서도 중요한 단계로, 후속 공정의 성능, 규제 대응력, 시스템 전반의 효율성에 직접적인 영향을 미친다. 이 스마트 시스템은 실시간 수질 모니터링을 기반으로 주입량을 자동 조정할 수 있도록 하여, 수도사업자가 반응적 운영에서 예측적 운영으로 전환할 수 있도록 지원한다.
 - 또한 SCADA 플랫폼, 예지 정비 시스템, AI 기반 수질 예측 엔진 등 다른 디지털 요소들과 높은 호환성을 가진다. 이러한 시스템의 도입은 전체 스마트 물 관리 생태계의 신뢰성, 최적화, 투명성을 강화하며, 미래 지향적인 수돗물 서비스 제공의 기반을 마련하는데 중요하다.

〈표 5-44〉 스마트 약품주입 설비 구축절차

항목	기대효과
수질 안정성	• 유입 수질이 변해도 일관된 처리 효과 유지 가능
약품 효율성	• 약품 과잉 사용을 줄이고 운영 비용을 절감 가능
운영 대응성	• 오염 사고나 계절별 수질 변화에 신속하게 대응 가능
규제 준수	• 주입 이력의 추적 가능성이 향상되어 기준 준수가 쉬워짐
환경 성능	• 약품 유출 및 방류로 인한 환경 영향을 줄일 수 있음

4) 적용 사례

〈표 5-45〉 스마트 약품주입 설비 적용 사례

국가	사례	세부내용
대한민국	Explainable AI(XAI) 기반 응집제 주입 제어	<ul style="list-style-type: none"> • K-water 화성 정수장은 세계경제포럼의 'Global Lighthouse' 시설로 지정된 스마트 정수처리 시스템으로, 유입부터 소독, 슬러지 수집까지 전 공정에 완전 자동화 AI 제어 적용 • 실시간 원수 수질 및 디지털 트윈 시뮬레이션을 기반으로 약품 자동 주입, 운영 개입 42% 감소, 약품 19% 절감, 에너지 10% 절감 등의 성과 달성 • K-Means, Gradient Boosting 등의 훈련된 알고리즘을 활용하여 다양한 수질 조건에서도 투명하고 능동적인 주입 가능
호주	VROC 'No-Code AI' 기반 스마트 주입 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • VROC 플랫폼을 도입한 한 정수장은 원수 유량, 탁도, 잔류 염소 데이터를 활용하여 응집제 주입량 예측, 기존의 Jar Test보다 우수한 성능 확보 • 수동 테스트 및 약품 사용 의존도 낮춤, 약품 오류 식별 속도 향상
영국	EMS 환경방류 처리 최적화 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 입자 크기 및 투명도를 초당 100회 측정하는 AI 기반 시스템을 도입하여 동적 주입 조절을 시행 • 약품 사용 30% 절감(월 £8,200), 펌프 운전 시간 감소로 에너지 10% 절감, 슬러지 처리 비용 £2,400 절감, 메탄 발생량 증가 등의 효과
스페인	발렌시아의 스마트 응집제 주입 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 발렌시아 대도시 정수장의 디지털 트윈 시스템은 수질 변화를 예측하고 최적의 응집제 주입량을 제안함으로써, 약품 사용량 18%, 에너지 사용량 16%를 절감

나. 스마트 슬러지 수집 시스템

- 슬러지 제거는 정수처리에서 침전조와 침전지의 효율적 운영을 보장하는 핵심 기능이다. 기존 시스템에서는 슬러지 배출이 대부분 사전 설정된 일정이나 수동 관찰에 의존하여 수행되며, 이로 인해 슬러지의 과도한 축적, 비효율적인 제거, 혹은 가라앉은 고형물의 재부유와 같은 문제가 발생할 수 있다. 이러한 비효율성은 수질 저하, 약품 사용 증가, 하류 여과 설비에 대한 부하 증가로 이어진다.
- 스마트 슬러지 수집 시스템을 도입하면 센서 기반 자동화 기술을 활용하여 실시간 모니터링과 지능형 슬러지 배출 제어가 가능해진다. 이 시스템은 슬러지 수위 센서, 자동 펌프, AI 기반 일정 알고리즘을 활용하여 실제 공정 조건에 맞춰 배출 시기와 양을 최적화한다. 또한, 운영 효율성, 수질 안정성, 에너지 및 인건비 절감 효과를 제공한다. 뿐만 아니라 SCADA 및 스마트 의사결정 플랫폼과 통합될 경우, 슬러지 데이터를 침전 최적화 및 상류의 약품 주입, 하류의 슬러지 처리 전략에도 유용하게 활용될 수 있다.

1) 주요 기능

- 스마트 슬러지 수집 시스템은 다음과 같은 지능형 기능을 포함한다.

〈표 5-46〉 스마트 슬러지 수집 설비 주요기능

기능	세부내용
슬러지 수위 센서	• 침전 깊이를 지속적으로 모니터링하여 최적의 배출 시점 결정
자동 펌프/밸브 제어	• 실시간 센서 입력에 따라 슬러지 배출을 동적으로 조절
AI 기반 일정 예측	• 슬러지 축적을 예측하고 효율적인 배출 간격 추천
유량 최적화	• 유압 불안정을 방지하기 위해 배출 속도 조정
경고 기능	• 과도한 슬러지 축적이나 장비 이상 발생 시 운영자에게 경고 제공
데이터 로깅	• 성능 및 슬러지 데이터를 저장하여 보고 및 최적화에 활용

2) 구축 절차

- 스마트 슬러지 수집 시스템으로 전환하기 위해서는 기술 호환성, 센서 정확성, 전체 공정과의 통합 등을 고려한 체계적인 접근이 필요하다. 단계별로 장비 검증, 데이터 보정, 운영자 적응 과정을 거쳐야 하며, 효과적인 구축을 위해 아래 표와 같이 진행할 수 있다.

〈표 5-47〉 스마트 슬러지 수집 설비 구축절차

추진 단계	세부내용
1단계: 기초 조사	• 기존 슬러지 제거 인프라, 축적 패턴, 수동 운영 기록 평가
2단계: 시스템 설계	• 적합한 슬러지 수위 센서, 자동 밸브 또는 펌프, 통신 프로토콜 선정
3단계: 장비 설치	• 침전조나 침전지에 센서 및 액추에이터를 설치하고 SCADA 또는 중앙 제어 시스템과 연결
4단계: 제어 논리 및 AI 설정	• 유입수 조건, 슬러지 축적 속도, 운영 목표에 따라 제어 로직 및 예측 알고리즘 구성
5단계: 테스트 및 보정	• 다양한 유량 및 부하 조건에서 센서 정확성과 시스템 반응 검증
6단계: 운영자 교육 및 시스템 가동	• 시스템 모니터링, 수동 제어 절차, 데이터 해석 등에 대한 교육을 실시하고 단계적으로 운영 개시
7단계: 모니터링 및 최적화	• 실제 슬러지 경향에 기반하여 시스템 성능을 지속적으로 평가하고 알고리즘 또는 설정 개선

3) 기대효과 및 전략적 가치

- 스마트 슬러지 수집 시스템은 처리 효율성, 수질 안정성, 운영비 절감 등 다양한 측면에서 실질적인 개선을 제공한다. 기존의 고정 시간 혹은 수동 방식 대신, 센서 기반의 적응형 제어를 통해 고형물 부하를 더 효과적으로 관리할 수 있으며, 약품 및 에너지 소비를 줄일 수 있다. 주요 기대효과를 <표5-48>과 같이 정리하였다.

<표 5-48> 스마트 슬러지 수집 설비 기대효과

항목	기대효과
공정 효율성	• 적시에 타겟된 슬러지 제거를 통해 재부유를 방지하고 침전 성능을 개선하며 하류 여과 부하 감소
수질 안정성	• 유입 조건이 변화해도 탁도가 낮고 일관된 방류 수질 유지
약품 비용 절감	• 고형물 처리 조건 최적화, 응집제 및 플록큘런트의 불필요한 사용 감소
인력 효율화	• 수동 검사 및 개입 최소화, 운영자의 고부가가치 업무 집중 가능
에너지 및 유지보수 절감	• 펌프 운전 시간 감소와 슬러지 처리 장치 과부하 방지로 장비 수명 연장
예측형 자산 관리	• 공정 이상이나 기계 마모에 대한 경향 분석 및 조기 식별 가능

- 스마트 슬러지 수집 시스템은 지능형, 효율적, 회복력 있는 정수처리 운영을 위한 핵심 기술이다. 실제 공정 조건에 기반한 실시간 고형물 제거 자동화는 정수처리에서 가장 민감한 운영 요소 중 하나인 슬러지 관리를 효과적으로 수행하게 한다. 이 시스템은 단순한 침전 성능 개선과 함께 상류의 약품 주입 최적화, 하류의 여과 및 에너지 절감에도 전략적으로 기여한다.
- SCADA 시스템 및 AI 기반 플랫폼과 통합될 경우, 스마트 슬러지 관리는 폐쇄 루프형 데이터 기반 처리 생태계의 일부가 된다. 이는 수도사업자가 계획된 운영과 반응적 유지보수에서 벗어나 예측형 공정 제어 및 장기적인 인프라 관리로의 전환을 가능하게 한다. 또한 슬러지 데이터는 수질, 유량, 에너지 소비 데이터와 함께 집계되어 전체 정수처리 공정(응집, 소독, 탈수 등)의 최적화를 이끄는 기반 자료로 활용될 수 있다.

4) 스마트 슬러지 관리의 실제 사례

〈표 5-49〉 스마트 슬러지 관리 적용 사례

국가	사례	세부내용				
스페인	레이다의 Aqualia 스마트 하수처리장	<ul style="list-style-type: none"> Aqualia는 IBM Research와 협력하여 96,000m³/일 규모의 하수처리장에서 센서 데이터 통합 스마트 플랜트 운영 슬러지 생산 제어를 포함한 전반적 운영을 기계학습으로 최적화 성과 도출 				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>슬러지 발생량</th> <th>에너지 소비</th> <th>약품 사용량</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17% 감소</td> <td>13.5% 절감</td> <td>14% 절감</td> </tr> </tbody> </table>	슬러지 발생량	에너지 소비	약품 사용량	17% 감소
슬러지 발생량	에너지 소비	약품 사용량				
17% 감소	13.5% 절감	14% 절감				
중국	베이징 화이팡 물 재이용센터	<ul style="list-style-type: none"> Cambi 열가수분해(THP), 원심분리기, 탈수 시스템 등 고도화된 슬러지 처리 기술 적용 실시간 슬러지 분석 및 기계화가 결합된 고효율 슬러지 관리 실현 비록 완전 자율 시스템은 아니지만, 하루 최대 180tDS의 처리 용량을 가지며 스마트 슬러지 수집이 고효율 운영을 지원하는 사례로 평가 				
북미	지역 Lystek 시스템 개보수	<ul style="list-style-type: none"> Lystek의 모듈형 슬러지 처리 시스템은 농축과 탈수를 통합하여 구성, 북미의 여러 하수처리장에 설치 원격 모니터링 및 제어 기능을 통해 약품 투입량, 온도, 처리 조건 등을 실시간으로 유연하게 조정 2015년 기준, 온타리오와 서스캐처원 지역의 여러 시설에 이러한 스마트 슬러지 처리 방식 적용 				

다. 스마트 소독 시스템

- 소독은 정수처리의 마지막 단계이자 가장 중요한 과정으로, 병원성 미생물을 제거하고 정수장에서 가정까지 수도물의 안전성을 보장하는 역할을 한다. 기존의 소독 방식(예: 염소, 오존, 자외선 처리 등)은 고정된 투입량 설정이나 수동 조정에 의존하는 경우가 많아, 과다 투입으로 인한 화학물질 낭비 및 소독 부산물 생성, 혹은 부족 투입으로 인한 건강 위험을 초래할 수 있다.
- 스마트 소독 시스템은 실시간 수질 모니터링, 자동 제어, AI 기반 최적화 기능을 통해 현재 수질 조건에 따라 소독 수준을 지속적으로 조정한다. 이 시스템은 유량, 수온, 잔류 염소 농도, 미생물 지표 등 다양한 인자를 기반으로 소독제 투입량을 자동으로 조절하여, 규제 기준을 충족하면서도 화학물질 사용과 운영 부담을 최소화할 수 있다. 또한, SCADA 및 기타 스마트 처리 구성요소와 통합되어, 완전 자동화되고 자율 최적화되는 정수처리장을 실현하는 데 기여한다.

1) 주요 기능

- 스마트 소독 시스템은 고급 센서, 자동화 장치, 분석 알고리즘을 통합하여 <표5-50>과 같은 주요 기능을 수행한다.

<표 5-50> 스마트 소독설비 주요기능

기능	세부내용
잔류 소독제 모니터링	• 염소, 오존, 자외선 소독 효과를 실시간으로 지속 측정
자동 투입량 조정	• 실시간 피드백 기반, 화학물질 투입량 또는 자외선 강도 자동 조절
AI 기반 투입량 예측	• 유량, 탁도, 유기물 부하, 과거 경향을 바탕으로 소독 필요량 예측
부산물 생성 위험 관리	• THMs, HAAs와 같은 소독 부산물 생성을 예측하고 최소화
경보 및 알람 시스템	• 투입량이 안전 또는 효과 기준을 벗어날 경우 경보 발송
데이터 기록 및 규제 보고	• 잔류 농도 및 투입량을 기록하고 보고서 생성을 지원

2) 구축 절차

- 스마트 소독 시스템을 구현하기 위해서는 센서의 정확한 보정, 기존 인프라와의 통합, 규제 기준에 부합하는 설계가 필요하다. 단계적 접근 방식은 시스템의 반응성 테스트, 안전 기준 검증, 투입 알고리즘 미세 조정에 효과적이다.

<표 5-51> 스마트 소독설비 구축절차

추진 단계	세부내용
1단계: 시스템 진단	• 현재 소독 공정, 투입 방식, 규제 준수 요건 검토
2단계: 기술 선정	• 적절한 소독 센서(염소, UV 강도 등), 제어 시스템, AI 플랫폼 선정
3단계: 센서 설치	• 잔류 소독제 및 수질 지표(탁도, TOC 등) 측정을 위한 분석기 설치
4단계: 자동화 통합	• 투입 펌프 또는 자외선 장치 SCADA에 연결, 피드백 제어 구현
5단계: AI 및 제어 로직 구성	• 동적 조건에 따라 투입량 조정, 예측 모델 또는 규칙 기반 제어 구성
6단계: 시험 운전 및 보정	• 센서 정확도, 시스템 반응성, 경보 기능 검증
7단계: 교육 및 운영 개시	• 운영자에게 시스템 모니터링, 경보 대응, 유지관리, 비상 대응 절차 교육
8단계: 지속 최적화	• 성능 모니터링, 투입 알고리즘 정제, 보고 기능 정기 업데이트

3) 기대효과 및 전략적 가치

- 스마트 소독 시스템은 운영 제어, 공공 건강 보호, 비용 효율성 측면에서 현저한 개선을 제공한다. 실시간 모니터링과 적응형 제어 로직을 결합함으로써, 변동하는 수질 조건에서도 일관된 소독 효과를 유지하고 과도한 화학물질 사용과 유해 부산물 생성을 방지할 수 있다.
- 스마트 소독 시스템은 기후변동, 원수 수질의 불안정성, 강화되는 수질 규제에 대응하기 위한 핵심 솔루션이다. 본 시스템은 안정적인 미생물 제어를 통해 수돗물의 신뢰성을 높이고, 화학물질과 에너지 사용 최적화를 통해 운영 효율성을 제고한다.

〈표 5-52〉 스마트 소독설비 기대효과

항목	기대효과
공공 건강 보호	• 최적 소독 상태를 유지하여 미생물 오염 위험 최소화
화학물질 비용 절감	• 실시간 조정을 통해 과잉 투입 방지
소독 부산물 저감	• THMs, HAAs와 같은 유해 물질 생성을 예측 및 억제
규제 준수 지원	• 잔류 농도 및 투입량 자동 기록 및 보고 기능 제공
운영 효율성	• 수동 모니터링 및 조정 작업 최소화
공정 통합성	• SCADA 및 타 처리 단위와 연계되어 공정 간 조화 유지

4) 스마트 소독 시스템의 실제 사례

〈표 5-53〉 스마트 소독 시스템 적용 사례

국가	사례	세부내용
스페인	바르셀로나 Sant Joan Despí 정수장	<ul style="list-style-type: none"> • 연구진은 약 190만 명에게 물을 공급하는 Sant Joan Despí 정수장의 SCADA 시스템과 실시간 연결된 시뮬레이터를 도입하여 염소 투입 제어 전략을 시험 • 이 시뮬레이터는 실제 시스템과 2% 이내의 정확도로 투입량을 유지하여, 운영 중단 없이 안전하게 전략을 시험
미국	캘리포니아 EMWD(Eastern Municipal Water District)	<ul style="list-style-type: none"> • EMWD는 재이용수 처리시설에서 AI 및 머신러닝을 시험 적용하여 에너지 및 화학물질 사용량 절감을 목표로 진행 • 소독 품질을 유지하면서 화학물질 사용량 감소 • 폭기조 및 소독 단계의 에너지 사용 최적화

제6장

정책 및 제도 개선 방안

1. 스마트물관리 도입을 위한 법·제도 개선
2. 공공·민간 협력(PPP) 및 투자 유치 방안

정책 및 제도 개선 방안

1. 스마트 물관리 도입을 위한 법·제도 개선

가. 물관리 관련 법 개정 필요성

- 스마트 물관리(Smart Water Management)는 기존 물 인프라에 정보통신기술(ICT)을 접목하여 물의 생산, 수송, 공급, 소비, 처리 전 과정을 과학적으로 관리하는 통합 물관리 방식이다. 현재 키르기스공화국은 전통적인 물공급 및 위생시설 인프라와 제한적인 수자원 법제를 갖추고 있어, ICT 기반 스마트 시스템의 도입에 필요한 법적 기반이 부족한 실정이다. 스마트 물관리는 기존의 하천·지하수·상하수도 법제를 뛰어넘어 ICT 기반 실시간 모니터링 및 제어를 전제하므로, 키르기스공화국의 기존 수자원 관리법 개정은 필수적이다(한국수자원공사, 2015).
- 한국에서도 '2005년 물관리법(Water Code)'은 수량, 수질, 댐 안전, 요금, 유역관리 등 전통적 원칙을 규정하지만, 디지털 수리권 거래, 실시간 데이터 공유·공개 원칙, 자동제어 설비 법적 인정 등은 미포함되어 있다. 그러나 스마트워터그리드(SWG) 시스템 도입을 위해 「지능형 물관리법」과 같은 특별법 제정이 논의되었으며, 기존 「수도법」, 「하천법」, 「지하수법」 등의 개정이 함께 이루어졌다.
- 특히, '지능형 물관리법' 제정 또는 기존 물관리법에 비상사태 시 원격제어 조치, IoT·AI 기반 누수 탐지 장치 및 자동염소주입 장비 설치 규정을 포함할 필요가 있다. 또한 법령 개정을 통해 수리권의 디지털 등록·이전 절차, 유역물 관리 단위의 강제 구성 및 운영 근거, 민관 협업을 위한 규범 기반 제공이 가능해야 한다.
- 키르기스공화국 역시 물 관련 제도의 통합과 현대화를 위한 법 개정이 필요하다. 특히 수량·수질 통합관리, 다중 수원 활용, 수리권의 디지털화 및 거래 시스템 도입 등 새로운 기술·운영방식이 적용될 수 있도록 법률 개정이 필요하다.

- 또한, 스마트 물관리 도입과 관련된 규정을 기존의 환경법 또는 위생법과 연계하여 개정하고, 관련 부처 간 책임과 역할을 명확히 하는 ‘물관리 기본법’ 수준의 통합법 제정이 바람직하다.

나. ICT 기술 적용을 위한 규제 완화 방안

- 스마트 물관리는 IoT 기반 계측기, 원격제어 기술, 클라우드 기반 관제시스템 등의 기술적 요소를 포함하며, 이는 전통적인 인허가 체계 및 기술 인증제도와 충돌할 수 있다. 한국에서는 이와 같은 기술 도입의 초기단계에서 「정보통신융합법」에 근거한 ‘ICT 규제 샌드박스’ 제도를 활용하여 신기술의 실증 및 제도 개선을 유도하였다(한혜진 등, 2016).
- 키르기스공화국도 유사한 규제완화 접근이 필요하다. 예컨대 스마트 센서 설치 시 무선주파수 사용, 민간시설 접근 허용, 자동염소 주입장치와 같은 공정자동화기기의 현장 적용 등을 허용하기 위한 시범사업 특례 조항 마련이 필요하다.
- 또한 관련 기술의 수입·인증 절차, 기술평가 기준 등에 대한 간소화 및 현지화 기준 마련이 병행되어야 한다. 이를 통해 민간 기술 기업의 시장 진입을 촉진하고, 정부 차원의 표준화 전략과 연계한 기술보급 기반을 조성할 수 있다.
- ICT 기반의 스마트 물관리를 위해서는 ICT 인프라 설치·운영 규제의 유연화가 필수이며, 키르기스공화국에는 아직 ICT 기반 인프라 공동설비 및 공유 규정이 미비한 상황이다.
- 이에 따라 정부는 ‘ICT-Water 규제 샌드박스’ 제도를 도입하여, 스마트 수도미터, 원격 밸브, 누수 탐지 센서 설치 등을 시범 운영하게 하고, 실증 후 기술 사용 승인을 내주는 시범특례 조항을 마련해야 한다. 또한, 클라우드 기반 물관리 시스템에 대한 국내외 인증 기준을 정비하고, 수입 및 기술평가 절차를 간소화해 민간 기업 참여를 활성화해야 한다.
- 기존 「전기통신법」 내 도로·철도·전력망 등 타 인프라와의 ICT 공동설비 관련 근거가 불충분하므로, 관련 조항을 보완하고 통합 허가정보포털을 구축하여 시공·운영 단계에서 투명한 절차 기반을 마련이 권장된다.

다. 데이터 활용 및 보안 관련 법적 고려 사항

- 스마트 물관리의 핵심은 실시간 센서 데이터 수집·처리·공유이지만, 이는 동시다발적 개인정보·인프라 보안 리스크를 수반한다. 한국의 경우 「개인정보보호법」 및 「정보통신망법」, 「국가정보화 기본법」 등과 연계한 데이터 보안 및 공유 기준이 제시되어 있다. 키르기스공화국은 2008년 “개인정보보호법(Personal Data Law No.58)”을 제정했고, 2021년 개정을 거쳐 있으며, 국가 개인정보보호청(PDPA)을 설치하여 민간·공공

데이터의 법적 책임을 규정하고 있다. 키르기스공화국은 다음과 같은 조치를 고려할 수 있다(진대용 등, 2022):

- 데이터 등급화 체계 설정: 수질·수량·위치·운영정보 등 유형별로 공공정보/민감정보를 구분하고, 유관 기관 접근 권한을 구분하는 규정 필요
 - 데이터 수집주체(공공·민간) 책임 규정: 데이터 처리 및 보안 사고 발생 시 법적·재정적 책임 명확화, 예: 허용 범위 외 데이터 유출 시 처벌 조항
 - 클라우드 저장 및 국외전송 규제: 해외 클라우드 이용 시 암호화, 데이터 주권, 국가 인증기준 충족 등 요건을 법제화 필요
 - 국가정보화 기본법 내 스마트 물관리 특례: 국가 디지털 플랫폼 통합 전략에 스마트 물관리 모듈 채택, 데이터 상호운용성 확보, API 기반 연동 의무화 조항 등 포함
 - 사이버보안 및 정보보호법 연계: 2017년 공공 데이터베이스 보호 요건을 규정한 “국가 e-Gov DB 보안규정” 정부결의 762호는, 스마트 물관리 시스템에 맞춘 센서·통신·암호화 요소 반영 법률 적용 범위 확대 필요
- 이처럼 민감정보 보호·공공 데이터 이용 확대·클라우드 보안 법제화는 스마트 물관리의 신뢰성과 지속가능성 확보를 위한 핵심 제도 기반이다.

라. 소결

- 키르기스공화국의 스마트 물관리 도입은 물 인프라 현대화, 국민 보건 향상, 기후변화 대응 역량 강화 등 여러 측면에서 국가발전에 기여할 수 있다. 그러나 기술 도입에 앞서 법과 제도의 정비가 병행되어야만 안정적인 추진이 가능하다. 한국의 사례처럼 체계적인 법·제도 개선을 통해 ICT 기반 물관리 전환이 이뤄질 수 있도록 정책적 관심과 협력이 요구된다.

2. 공공·민간 협력(PPP) 및 투자 유치 방안

- 세계 물산업 시장은 지속적으로 확대되고 있으며, 2024년 약 1조 351억 원 규모에서 2028년까지 연평균 3.2%씩 성장할 것으로 전망된다(워터저널, 2019). 이러한 성장은 물 인프라 수요 증가, 국가 재정 한계, 그리고 선진 민간기술 도입 필요성 등으로 인해 PPP(민관 협력 투자) 모델을 활용한 사업 발주가 늘어나는 추세에 기인한다. 특히 개발도상국에서는 다자간개발은행(MDB) 등의 금융을 활용한 투자 비중이 증가하는 추세가 뚜렷하게 나타난다(워터저널, 2024).
- 글로벌 물시장의 수요는 대륙이나 기후에 따라 상이하게 나타나는데, 선진국에서는 노후 상하수도 인프라의 교체 수요가 높은 반면, 동유럽, 동남아, 남미 등 개발도상국에서는 신규 인프라 구축에 대한 수요가 크다. 아프리카의 경우 공적개발원조(ODA) 연계 투자가 활발하며, 중동 지역은 해수담수화 및 재이용 기술에 대한 수요가 높게 형성되어 있다. 이러한 시장의 질적 차이와 수요의 다양성을 이해하고 각 시장에 맞는 맞춤형 전략을 수립하는 것이 물산업 해외 진출 성공의 핵심 요소로 작용할 것이다.
- 미국, 중국, 일본 등 주요 3개국이 세계 물시장의 약 50%를 점유하고 있으며, 우리나라는 세계 12위 규모의 물시장을 보유하고 있다. 세계 물산업 강국들은 전략적으로 시장을 선점하고 있는데, 예를 들어 미국은 세계 1위의 기술력과 내수시장을 기반으로 주요 다자개발은행이 중심이 되어 자국 기업의 해외진출을 지원한다. 일본 또한 부품소재, 설계 분야의 기술력과 다양한 ODA 경험을 활용해 아시아 시장을 개척하며, 국가 차원에서는 해외 물 인프라 PPP협의회를 기반으로 패키지형 인프라 해외 진출을 뒷받침하는 지원 시스템을 갖추고 있다.
- 본 절에서는 물산업 해외 진출 활성화를 위한 공공·민간 협력(PPP) 및 투자 유치 방안을 심층적으로 분석하고, 구체적인 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히, 민간 투자 유도를 위한 재정 인센티브, 국제기구 및 개발은행과의 협력 방안, 그리고 스마트 물관리 사업의 경제성 분석에 초점을 맞춰 상세히 논의할 것이다. PPP는 단순한 자금 조달 방식을 넘어, 개발도상국의 재정적 한계를 보완하고 선진 기술을 도입하는 수단으로 활용된다는 점을 강조하며, 장기적인 자본 회수 기간이라는 PPP의 본질적 위험을 MDB 자금 지원을 통해 분산 및 완화할 수 있다는 점에 주목한다. 이는 PPP 사업 구조 설계 시 재정적 인센티브와 함께 위험 분담 전략을 최우선으로 고려해야 함을 의미한다.

가. 민간투자 유도를 위한 재정 인센티브

1) 물산업 해외 PPP 민간투자 유치 필요성

- 전 세계적으로 물 인프라에 대한 수요가 급증하고 있지만, 많은 개발도상국은 부족한 재정으로 인해 필요한 투자를 독자적으로 감당하기 어려운 실정이다. 이러한 상황에서 민간 부문의 풍부한 자본, 혁신적인 기술, 그리고 효율적인 운영 노하우를 활용하는 PPP (Public-Private Partnership) 방식은 필수적인 대안으로 부상하고 있다. PPP는 정부와 민간이 상호 파트너십을 통해 투자와 운영을 수행하며, 민간의 자금, 기술, 경영 노하우를 활용하여 경제적으로 양질의 공공 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다(워터저널, 2019; 한국수자원공사, 2019).
- 물 분야 PPP 사업은 성공적인 사례도 다수 존재하지만, 일반적으로 자본 회수 기간이 길다는 어려움이 있다. 이러한 장기적인 투자 특성은 민간 기업에게 높은 위험으로 작용할 수 있으며, 이를 완화하기 위한 재정적 인센티브와 효과적인 위험 분담 메커니즘의 설계가 필수적이다. PPP는 단순한 자금 조달 방식을 넘어, 개발도상국의 재정적 한계를 보완하고 선진 기술을 도입하며, 사업의 위험을 분산 및 완화하는 중요한 도구로 기능한다. 따라서 PPP 사업 구조 설계 시에는 재정적 인센티브와 함께 위험 분담 전략을 최우선으로 고려해야 한다.

2) 주요 재정 인센티브 유형 및 국내외 사례

- 민간 투자를 유도하기 위한 재정 인센티브는 크게 직접적 재정 지원, 세금 감면 및 공제, 그리고 금융 지원으로 분류할 수 있다. 이러한 인센티브는 민간 기업의 초기 투자 부담을 줄이고, 사업의 수익성을 높여 해외 물산업 프로젝트 참여를 장려하는 데 기여한다.

가) 직접적 재정 지원(보조금, 현금 지원)

- 직접적 재정 지원은 정부나 공공기관이 민간 기업에게 보조금이나 현금을 직접 지급하여 투자 비용을 경감시키는 방식이다. 이는 초기 사업 개시 비용을 지원하거나 특정 조건 충족 시 인센티브를 제공하는 형태로 이루어진다. 예를 들어, 중국 상하이에서는 2008년 7월 7일 이후 회사를 등록하고 10인 이상 및 지역 본부 설립 시, 500만 위안의 사업 개시 보조금을 3년 동안 차등 지급하는 제도를 운영한 바 있다. 다국적 기업의 아시아/아태 지역 본부가 상하이에 신설되고 50명 이상 인원이 상주할 경우, 800만 위안의 사업 개시 보조금을 3년 동안 차등 지급하기도 했다. 이러한 현금 지원은 기업의 초기 진입 장벽을 낮추고, 특정 지역으로의 투자를 유도하는 데 효과적이다(KOTRA, 2013).

나) 세금 감면 및 공제

- 세금 감면 및 공제는 민간 기업의 세금 부담을 줄여 실질적인 수익률을 높이는 간접적인 재정 지원 방식이다(투자/생산 세액공제, 기타 세금 감면)(김형주, 2017).
- 투자 및 생산 세액공제: 재생에너지 분야의 사례에서 볼 수 있듯이, 신규 투자(기술개발, 제조시설 건축, 프로젝트 추진 등)에 대해 프로젝트 개발자, 기업, 건물 소유자 등의 수익에서 세금을 전부 또는 일부 감면하거나 납부 의무를 경감해 주는 제도이다. 이는 물산업의 신기술 개발 및 인프라 투자에 유사하게 적용될 수 있다.
- 판매세/에너지/부가세 기타 세금 감면: 온실가스 감축 효과가 크지만 경제성이 낮은 분야에 대해 생산 및 판매 관련 세금(판매세, 에너지세, 탄소세, 부가세 등)을 전부 또는 일부 감면해주는 제도이다. 물 재이용, 해수담수화 등 친환경 물기술 분야에 적용하여 기술 보급을 촉진할 수 있다. 인도는 국내의 기업에 유사한 지원을 제공하며, 외국 기업에 10% 우대 혜택을 주기도 한다. 일본은 대지진 이후 외국 기업의 탈일본 현상에 대응하기 위해 2012년 아시아 거점화 촉진 인센티브를 신설하여 연구개발 및 지역총괄에 인센티브를 부여했다.

다) 금융 지원(대출, 보증, 프로젝트 파이낸싱)

- 금융 지원은 민간 기업의 자금 조달을 용이하게 하고, 장기적인 사업 수행에 필요한 유동성을 제공하는 중요한 인센티브이다.

라) 한국수출입은행의 물산업 해외진출 금융 지원 조건 및 사례

- 한국수출입은행(수은)은 국내 기업의 해외시장 개척을 지원하는 핵심 정책금융기관으로, 물산업을 포함한 녹색산업 분야에 우대금리를 제공하며 금융 지원을 확대하고 있다(워터저널, 2013).
- 대출 한도 및 기간: 수출 계약 총액에서 기수령액을 제외한 잔액의 최대 90%까지 지원하며, 현지 비용 중 수출 계약 금액의 최대 50%까지 추가 지원이 가능하다. OECD 협약 기준에 따라 대출 기간은 일반적으로 5~15년의 장기 조건이 적용되며, 신재생에너지 및 수자원 분야 사업의 경우에는 최대 18년까지 확대할 수 있다. 프로젝트 파이낸싱(PF) 지원 시에는 최대 30년까지 대출 기간을 연장할 수 있으며, 저리로 자금을 지원한다(이승훈, 2021).
 - 차주 및 대상: 수입자가 차주가 되는 직접대출 방식을 선호하며, 외국법인에 대한 사업자금 대출의 경우 현지법인이 차주가 되는데, 이때 현지법인은 국내 기업이 일정

지분을 보유한 형태로 설립되어야 한다.

- 보증 거래: 채무 보증과 이행성 보증으로 나뉘며, 수출입은행이 국내외 금융기관으로부터 차입하는 자금에 대해 지급을 보증한다. 중소기업은 최대 10억 원, 중견기업은 최대 20억 원까지 보증 한도를 부여하며, 은행은 대출금리를 인하(최대 $\Delta 1.5\%$)하여 지원 효과를 극대화한다. 해외 프로젝트에 재화·용역을 수출하는 국내 협력업체에도 금융 지원을 제공하며, 공동참여 특례보증 대출을 출시하여 기업당 최대 20억 원, 프로젝트당 최대 400억 원까지 지원한다(관계부처합동, 2023).
- 사례: 한국수출입은행은 카타르 에틸렌 플랜트 건설 사업에 프로젝트 파이낸스 방식으로 총 10억 달러를 제공한 바 있다. 이 사업은 카타르 국영회사가 10여 년 만에 추진하는 역대 최대 규모 석유화학 사업으로, 삼성엔지니어링이 수주한 프로젝트에 국내 40여 개 중소·중견기업이 함께 참여했다. 이러한 사례는 대규모 해외 플랜트 건설 사업에서 PF가 중요한 자원 조달 수단임을 보여준다(KITA, 2023).

마) 국내 공공자금 및 보증기관 활용 방안

- K-water는 파키스탄 파트린드 수력발전 사업(BOT 방식)과 필리핀 양강 수력발전 사업 등 해외 투자 사업을 활발히 추진하고 있으며, 인도네시아 가리안 상수도 사업과 같은 PPP 사업도 진행 중이다. K-water는 1993년 ODA 사업을 시작으로 2009년 공사 최초 투자 사업에 진입하는 등 다양한 해외 사업 경험을 축적해왔다(최행자, 2023).

〈표 6-1〉 주요 재정 인센티브 유형 및 내용

인센티브 유형	세부 내용	주요 목적	국내외 사례
직접적 재정 지원	• 사업 개시 보조금, 현금 지원 등	• 초기 투자 부담 경감, 특정 지역/산업 투자 유도	• 중국 상하이 사업 개시 보조금
세금 감면 및 공제	• 투자/생산 세액공제, 판매세/에너지세/부가세 감면	• 실질 수익률 제고, 친환경 기술 보급 촉진	• 인도 외국기업 우대, 일본 R&D 인센티브
금융 지원	• 대출(장기, 저리, PF), 보증(채무, 이행성), 공공자금 활용	• 자금 조달 용이성 증대, 위험 분담, 유동성 확보	• 한국 정부의 PF 및 보증 지원

3) PPP 프로젝트 위험 분담 메커니즘 및 전략

- PPP 프로젝트는 장기적이고 복합적인 특성으로 인해 다양한 위험에 노출되며, 이러한 위험을 효과적으로 분담하는 것이 사업 성공의 핵심이다. 위험 분담은 각 참여자가 가장 잘 관리할 수 있는 위험을 맡도록 구조화되어야 한다.

가) 주요 위험 유형 및 효과적인 분담 원칙

〈표 6-2〉 PPP 프로젝트에서 발생할 수 있는 주요 위험

구분	내용
건설 위험	• 공사 지연, 비용 초과, 품질 문제 등
운영 위험	• 운영 효율성 저하, 유지보수 비용 증가, 기술적 문제 등
수요 위험	• 서비스 수요 예측 실패로 인한 수익 감소
정치적 위험	• 정부 정책 변경, 규제 변화, 국유화, 송금 제한 등 개발도상국에서의 사업 위험(정치, 경제, 문화적 위험)을 회피할 수 있는 방안에 대한 연구 필요
환율 위험	• 통화 가치 변동으로 인한 수익성 악화. 특히 투자적격 국가에서 자국 통화로 PPP 사업 사용료를 지불하려는 경우 통화 스왑 가능 여부와 조건 확인 필요
금융 위험	• 금리 변동, 자금 조달 실패 등

자료: KOICA, 2011; 정창구 등(2016)

〈표 6-3〉 효과적인 위험 분담의 원칙

구분	내용
최적의 위험 배분	• 위험을 통제할 수 있는 주체(정부, 민간 기업, 금융기관 등)에게 배분 예) 정치적 위험은 정부나 국제기구, 건설 및 운영 위험은 민간 기업 부담
투명성 및 예측 가능성	• 사전 분석을 통한 위험 분담 구조 명확화, 잠재적 위험 요소 예측 가능성 상승

나) 금융 및 계약 구조를 통한 위험 완화 방안

〈표 6-4〉 금융 및 계약 구조를 통한 위험 완화 방안

구분	내용
적절한 보험 가입	• 예상치 못한 손실(건설, 운영, 정치적 위험 등) 보전을 위해 보험 가입
유연한 계약 구조	• 계약시 예상치 못한 상황에 대응할 수 있는 유연성 확보 필요 • 이는 장기 계약의 특성상 발생할 수 있는 불확실성에 대비하는 데 필수적
다양한 시나리오 분석	• 최악의 상황을 포함한 여러 시나리오를 검토하여 잠재적 위험의 크기와 영향 평가, 이에 대한 대응 전략을 미리 수립함
MDB 연계 자금 조달	• 세계은행, 아시아개발은행, 아프리카개발은행 등 다자간 개발은행으로부터 프로젝트 파이낸싱을 통해 재원을 조달하는 것은 장기간의 사업 기간 동안 기업의 위험을 최소화할 수 있는 안정적인 자금 조달 방안 • MDB는 개발도상국의 정치적 위험에 대한 확장된 보증 제공
공공 부문의 적극적 역할	• 정부 또는 공공 기금이 자금의 단순한 대부자에서 적극적인 투자자로 전환, 국내 민간 기업의 해외 시장 진입 장벽을 낮추고 재무적 위험 감소 • 또한, 상하수도 운영 경험을 축적한 공기업이 해외 진출 지원 기능을 수행하도록 하는 것도 중요 • K-water는 해외사업 지속가능경영보고서를 매년 발간하며 위험 관리 및 성과를 투명하게 공개(한국수자원공사, 2025)

자료: 강문수(2011)

나. 국제기구 및 개발은행(EBRD 등) 협력 방안

1) 물산업 해외진출에서 국제기구 및 개발은행의 역할

- 국제기구 및 개발은행(MDBs)은 물산업의 해외 진출에 있어 핵심적인 파트너이다. 이들 기관은 개발도상국의 물 인프라 수요 충족을 위한 주요 자원 제공자이자, 사업의 안정성을 높이는 위험 완화자, 그리고 국제 표준 및 모범 사례를 전파하는 역할을 수행한다. 특히, 국가 재정이 취약한 개발도상국에서는 MDB의 금융 지원이 민관협력(PPP) 사업의 투자 비중을 증가시키는 중요한 요인으로 작용한다. MDBs는 단순한 자금 지원을 넘어, 기술 지원, 역량 강화 프로그램, 정책 자문 등을 통해 사업의 성공 가능성을 높이고, 장기적인 관점에서 지속 가능한 물 관리를 가능하게 한다(KOICA, 2011).

2) 주요 국제기구 및 개발은행별 협력 전략

가) 세계은행(World Bank, WB)

- 세계은행(WB)은 개발도상국 물 분야의 가장 큰 다자간 자금원으로서, '사람과 지구를 위한 물(Water for People and Planet)'이라는 비전 아래 물 공급, 위생, 수자원 관리, 농업용수 등 다양한 분야에 걸쳐 대출, 보조금, 기술 지원을 제공한다(워터저널 2019). 특히 1인당 GNI가 1,165달러 이하인 최빈 개발도상국에 장기 자금을 융자하는 국제개발협회(IDA)를 통해 지원을 확대하고 있다(강명구, 2015).
 - 지원 프로그램 및 금융 조건: WB는 정부에 대한 대출, 보조금, 기술 지원을 통해 물 인프라 확장 및 개선, 관리 관행 개선, 지역사회 참여 보장을 지원한다(한국수자원공사, 2025). 예를 들어, 레바논의 대베이루트 및 마운트 레바논 지역의 물 공급 서비스 개선을 위해 2억 5,780만 달러의 자금을 승인한 바 있다. 이 자금은 핵심 물 인프라를 완성하고, 수질을 개선하며, 값비싼 민간 수원에 대한 의존도를 줄이는 데 사용된다(World Bank Group, 2025). WB의 대출 및 보조금은 특정 사업의 적격 지출에 대해 지급되며, 약정 수수료, 서비스 수수료, 이자 수수료 등이 부과될 수 있다. 상환 기간은 유연하게 설정될 수 있으며, 프로젝트의 현금 흐름을 고려하여 조정되기도 한다(World Bank, 2008). WB는 또한 프로젝트 관리 단위(PMU) 설립, 운영 매뉴얼 채택, 환경 및 사회적 표준 준수 등을 조건으로 한다(World Bank, 2024).
 - 협력 사례: WB는 한국녹색성장신탁기금(KGGTF)을 통해 한국산업기술진흥원과 협력하여 아프리카 및 아시아 시범 사업을 추진하고 있다(World Bank Group Korea Office, 2024). 이는 한국의 에너지 전환 경험과 기술을 개도국에 전파하는 데 기여하며, 물 분야에서도 유사한 협력 모델을 구축할 수 있음을 시사한다.

나) 아시아 개발은행(ADB, Asian Development Bank)

- 아시아개발은행(ADB)은 아시아 및 태평양 지역의 물 분야 투자를 지원하는 주요 기관으로, 2006년 설립된 물 금융 파트너십 기금(WFPF)을 통해 물 투자 및 기술 지원 프로젝트를 수행하고 있으며 2006년부터 2024년까지 WFPF는 23개 개발도상국에서 135개 투자 프로젝트에 113억 8천만 달러를 지원하였고, 약 1억 2,700만 명이 혜택을 받았다(ADB, 2025(b)).
 - 물 분야 중점 전략: ADB는 기후변화 대응, 디지털 전환, 지역 통합 강화가 핵심 전략이며, 2030년까지 모든 사업의 75%가 기후변화 완화 및 적응 방향으로 수행되도록 하고 있다(C2CP, 2025). 물 분야에서는 지속 가능한 자원으로서의 물, 보편적이고 안전한 물 및 위생 서비스, 농업 및 경제에서의 생산적인 물 사용, 기후변화 및 물 관련 위험 감소를 중점적으로 지원한다.
 - 금융 조건: ADB는 대출, 보조금, 기술 지원을 제공하며, 특히 개발도상국 회원국(DMC)의 역량 강화, 지식 기반 구축, 정책 및 계획 프로세스 개선, 그리고 물 회복력 프로젝트 발굴을 지원한다(ADB, 2025(b)). WFPF는 프로젝트 지원 창구(Pillar 1)와 프로그램 품질 지원 창구(Pillar 2, 3)로 나뉘며, 자금의 약 70%가 프로젝트 설계 및 구현 개선에, 30%가 정책 강화 및 역량 개발에 할당된다. ADB의 자금은 양허성 대출과 보조금 형태로 제공되며, 프로젝트 계약에 따라 특정 조건과 상환 일정이 적용된다(ADB, 2025(c)).
 - 한국 기업 협력 사례: 한국수자원공사(K-water)는 2014년 ADB와 물 분야 정보 공유 및 인재 교류 협력을 위한 업무협약을 체결한 이후, 전문 인력 파견과 역량 강화 공동 교육을 실시하며 국내 물 기업의 아시아 진출을 적극 지원하고 있다(C2CP, 2025). K-water는 ADB와 함께 우즈베키스탄, 말레이시아, 우간다, 조지아 등에서 스마트 물관리 및 상하수도 개선 사업을 진행한 바 있다(한국수자원공사, 2025(b)). 이러한 협력은 한국의 급속한 경제 발전 경험과 IT, 건설 등 우위 분야에서의 경쟁력을 활용한 맞춤형 솔루션 제공을 통해 차별화 전략을 추진할 수 있음을 보여준다.

다) 유럽부흥개발은행(EBRD, 2019; EBRD, 2025(a); EBRD, 2025(b))

- 구소련 붕괴 이후 1991년에 설립된 이 금융기관은 러시아 연방 및 인근 국가들의 인프라 재건을 지원하기 위해 출범했으며, 현재는 우크라이나 재건 사업에서 핵심적인 역할을 담당하고 있다. EBRD는 물 인프라 개선, 에너지 효율 증진 등 도시 환경 문제 해결을 위한 투자를 활발히 진행한다(백종구, 2023).

- 투자 목적 및 금융 조건: EBRD는 수익성 있는 프로젝트, 상당한 자기자본 기여, 그리고 지역 경제에 이익이 되는 프로젝트에 대한 대출, 지분 투자, 보증 등 다양한 형태의 금융을 제공한다. 특히 2025년까지 녹색 금융의 비중을 전체 투자의 50%로 늘리는 것을 목표로 하고 있으며, 기후변화 회복력 있는 물 공급 프로젝트에 자금을 할당하는 등 친환경 투자를 강조한다. 대출은 프로젝트의 특정 요구 사항에 맞춰 제공되며, 신용 위험은 EBRD가 전적으로 부담하거나 시장에 일부 신디케이션될 수 있다. 대출 기간은 15년(키르기스공화국)에서 18년(타지키스탄) 까지 다양하며, 유예 기간이 포함된다. 프로젝트 타당성 조사, 조달 지원, 기업 개발 및 이해관계자 참여 프로그램 등 기술 협력(TC) 및 보조금 지원도 병행된다.
- 환경/사회 정책: EBRD는 환경 및 사회적 위험과 영향을 평가하고 모니터링하며, 프로젝트 수명 주기 동안 환경 및 사회적 영향을 관리하기 위한 최소 요구 사항을 설정한다. 특히 EU 환경 원칙, 관행 및 실질적인 표준을 충족하도록 프로젝트를 구성하며, 인권 존중, 취약 계층에 대한 불균형한 영향 완화, 생물 다양성 보전 및 지속 가능한 자원 관리 등을 강조한다. 대규모 댐, 지하수 취수 활동, 강 유역 간 수자원 이전, 대규모 폐수 처리장 등은 잠재적으로 중대한 환경 및 사회적 영향을 미칠 수 있는 Category A 프로젝트로 분류되어 공식적인 환경 및 사회 영향 평가(ESIA)가 요구된다.
- 한국 기업 협력 사례: 한국수자원공사는 2023년 9월 EBRD 본사에서 물 관리 및 우크라이나 재건 협력을 위한 업무협약을 체결하였으며, 카호우카 댐 복구 지원을 포함해 수자원과 상수도 분야 도시 재건 사업에서 협력 의지를 표명한 바 있다. 이는 한국의 우수한 물 분야 역량과 기술을 알리고, 우크라이나 재건이라는 대규모 사업에 참여하는 교두보를 마련하는 중요한 계기가 된다(백종구, 2023).

〈표 6-5〉 주요 국제기구/개발은행 물산업 금융 지원 특징 비교

구분	세계은행(WB)	아시아개발은행(ADB)	유럽부흥개발은행(EBRD)
주요 역할	• 개발도상국 최대 물 분야 자금원, 인프라 개선 및 관리 관행 개선 지원	• 아시아 태평양 지역 물 분야 투자 지원, 기후변화 대응 및 디지털 전환 중점	• 인프라 재건 지원, 녹색 경제 전환 및 도시 환경 문제 해결 중점
지원 형태	• 대출, 보조금, 기술 지원	• 대출(양허성 포함), 보조금, 기술 지원	• 대출, 지분 투자, 보증, 기술 협력, 보조금
주요 금융 조건	• 약정/서비스/이자수수료 부과, 유연한 상환 기간, PMU/운영 매뉴얼/환경사회 표준 준수 조건	• 프로젝트 지원(70%) 및 프로그램 품질지원(30%) 창구, 역량 강화 및 정책 개선 중점	• 수익성, 자기자본 기여, 지역 경제 기여, 환경 표준 준수 요구

〈표 6-5〉 계속

구분	세계은행(WB)	아시아개발은행(ADB)	유럽부흥개발은행(EBRD)
환경/사회 정책	<ul style="list-style-type: none"> 환경 및 사회적 위험/영향 평가 및 관리, 인권 존중, 취약 계층 보호, 생물 다양성 보전 	<ul style="list-style-type: none"> 회복력, 포괄성, 성평등, 지속 가능성, 순환 경제, 거버넌스, 혁신 강조 	<ul style="list-style-type: none"> EU 환경 원칙 준수, 인권 존중, 생물 다양성 보전, 투명성 및 이해관계자 참여 강조
한국 기업 협력	<ul style="list-style-type: none"> 한국녹색성장신탁기금(KGGTF) 협력 	<ul style="list-style-type: none"> K-water와 물 분야정보 공유 및 인재 교류 협력 	<ul style="list-style-type: none"> K-water와 우크라이나 재건 사업 협력 MOU 체결

3) 국제기구 및 개발은행 연계를 통한 해외진출 활성화 방안

- 국제기구 및 개발은행(MDBs)과의 협력은 개발도상국 물산업 활성화하는 데 있어 매우 효과적인 전략이다. 이들 기관의 자금력, 네트워크, 그리고 위험 분담 능력은 국내 기업이 단독으로 진출하기 어려운 대규모 또는 고위험 프로젝트에 참여할 수 있는 기회를 제공한다.

가) ODA 연계 및 G2G/B2B 협력 강화

- ODA(공적개발원조)는 개발도상국과의 관계를 강화하고, 국내 기업의 해외 진출을 위한 교두보를 마련하는 중요한 수단이다(위터저널, 2019). ODA 사업을 통해 현지 정부 및 공공기관과의 신뢰를 구축하고, 한국 물 기술의 우수성을 입증함으로써 향후 PPP 사업 수주로 연계될 가능성이 높아진다. K-water는 1993년부터 ODA 사업을 시작하여 현재 17개국에서 31개 ODA 및 투자 사업을 진행 중이다(한국수자원공사, 2025(b)). 특히, 베트남 내 낙후된 하수처리시설 증설 및 개선, 물 수요 증가에 따른 베트남 정부의 니즈가 확대되고 있다(한국수자원공사, 2019).
- G2G(정부 간 협력)는 국가 차원의 지원을 통해 민간 기업의 진출을 뒷받침하는 방식이다. 네덜란드 NWP(물산업 플랫폼)는 외교부를 경유하여 물 관련 현안 해결이나 원조 수요에 대응하는 프로젝트를 기획·발굴하여 해외 시장에서의 물 사업을 구축하며 공공 분야(G2G 형태)에 진출하는 구조를 가진다. 이는 한국 정부가 국제 물 포럼, 아시아 국제 물 주간 등 국제 행사를 주관하며 글로벌 물 이슈 확산 및 지속 가능한 발전 목표 달성에 기여하는 K-water의 역할과 유사하다(한국수자원공사, 2020).
- B2B(기업 간 협력)는 민간기업 간의 기술 수출, 관련 기관 또는 기업 연결 등을 통해 이루어진다. 네덜란드 Water Alliance는 정부의 직접 지원 없이, 회원 기관(연구기관 및 참여 기업)으로부터 공동 출연 방식으로 재원을 마련하는 구조로, Water Tech 관련 기술의 해외 시장 진출을 지원한다. 국내 기업들은 해외 발주처 및 국내 기업 간 1:1 비즈니스 매칭을 통해 해외 프로젝트 협력 논의를 진행하고, 초기 네트워크를 구축할 수 있다.

나) 글로벌 물기업과의 전략적 제휴 및 네트워크 활용

- 해외 물산업 시장은 베올리아(Veolia), 수에즈(Suez) 등 소수의 글로벌 메이저 기업들이 시장을 선점하고 있어 경쟁이 치열하다(민경진 등, 2011). 따라서 국내 기업이 해외 진출 초기에는 이들 메이저 플레이어들과의 전략적 제휴(EPC 공동 참여), 지분 참여, 합작 투자(J/V) 구성 등이 사업 성공을 위한 중요한 요소로 작용할 수 있다. 이러한 협력은 국내 기업의 기술적 역량과 해외 사업 경험 부족을 보완하고, 위험을 분담하며, 현지 시장 진입을 용이하게 하는 효과가 있다(위터저널, 2016).
- 국제 물 분야 네트워크를 구축하고 강화하는 것은 물산업 해외 확산을 지원하고 국가적 위상 제고에 기여한다. 한국물포럼은 국내외 최신 산업 동향을 반영한 정보 교류의 장을 마련하고, 물산업 분야의 현장 요구를 정책과 연계함으로써 해외 시장 진출을 뒷받침하고 있다. 또한, 해외 원조 기관 및 국제 금융 기금 자금을 활용한 신규 사업 발굴 및 수주 기회를 제공하며, 다양한 주체가 공동으로 해외에 진출할 수 있는 기회를 부여한다(한국수자원공사, 2020).

다. 스마트물관리 사업의 경제성 분석

161

1) 스마트물관리(SWM) 기술의 개념 및 핵심 요소

- 스마트물관리는 기존의 물 관리 기술과 정보 처리 수준을 넘어선 새로운 개념으로, 첨단 ICT(정보통신기술)를 활용하여 취수원에서 수도꼭지까지 물 공급의 전 과정을 실시간으로 관리하는 시스템을 의미한다. 이는 물 사용을 혁신하고 효율적으로 관리하기 위해 다양한 IoT(사물인터넷) 기술을 활용하며, 수자원의 사용량과 품질을 모니터링하고 제어하며 관련 장비를 유지 관리하는 데 중점을 둔다(부산광역시 물산업협회, 2024).
- 스마트물관리 시스템의 핵심 요소는 다음과 같다.
 - IoT 센서 기반 실시간 모니터링: 수질, 유량, 압력 등 물 공급망 전반의 데이터를 실시간으로 수집하고 모니터링하여 시스템 효율성을 향상시키고 물 낭비를 줄인다. 이는 물 수요-공급에 대한 실시간 데이터를 기반으로 측정, 모니터링, 모델링, 운영 관리, 과거 자료와의 비교 등을 통한 지능적인 물 관리를 가능하게 한다(환경산업기술원, 2020).
 - AI 알고리즘 기반 누수 감지 및 최적화: 수도물 공급망(Water Distribution Networks)의 예측 유지보수, 누수 감지 및 최적화를 위한 데이터를 분석한다. AI 기술은 누수 탐사 시간을 대폭 줄이고(6km 배관 탐사 시 6시간에서 1시간으로 단축), 누수음 분석 정확도를 40% 내외에서 80% 이상으로 향상시킨다. 스마트 수도미터는

정확한 실시간 물 소비량 추적 및 청구를 가능하게 하여 2023년 스마트물관리 시장의 44.1%를 차지했다(박재명, 2023).

- 에너지 효율화 기술: 물 생산 및 수송에 드는 에너지 과다 사용 문제를 해결하기 위해 ICT 기술을 접목하여 에너지 효율을 극대화한다. AI 모델은 수처리 펌프별 유량을 실시간으로 제어하여 펌프 유량 판단 시간을 8시간에서 10분 이내로 단축하고, 펌프당 2,600만 원의 탐지 비용을 절감한다. 이는 스마트 펌프 시장이 자동 제어, 원격 모니터링 및 에너지 효율과 같은 기능 향상으로 빠르게 확장되고 있음을 보여준다(마켓 리서치 인텔리전스, 2025).

2) 스마트 물관리 사업의 경제적 효과 분석

- 스마트 물관리 사업은 다양한 측면에서 상당한 경제적 효과를 창출한다.

가) 비용 절감 효과

〈표 6-6〉 스마트 물관리 사업의 비용절감 효과

지표	내용
누수 저감	<ul style="list-style-type: none"> • 도시 지역에서 누수로 인한 잠재적인 물 손실은 전체 사용량의 1.56%에서 46.73% • 스마트 물관리 시스템은 누수를 조기에 감지하여 막대한 수도요금을 절약하고 건물 내부의 누수 피해를 방지할 수 있음 • 지방 상수도 현대화 사업을 통해 유수율이 사업 전 54.9%에서 사업 후 86.8%로 29.9% 향상되었으며, 연간 1.1억㎥의 수자원을 확보하여 연간 3조 8천억 원의 경제적 효과 창출 • 관로 1km당 연간 7천㎥의 누수 저감 효과를 기대할 수 있음
에너지 효율 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 물 관리 시스템의 에너지 효율을 높여 운영 비용 절감 • 스마트 워터 펌프 시장은 에너지 효율적인 기술과 스마트 인프라를 촉진하는 정부의 법률 및 인센티브에 의해 성장 • 예를 들어, 지열원 히트펌프는 경유 보일러 대비 12.34% 낮은 에너지 투입 비용, 5년 경제성 분석 결과 약 25.8%의 비용 절감 효과
운영비 절감	<ul style="list-style-type: none"> • 무인화 및 자동화 설비 도입을 통해 운영 비용 절감 • 실시간 모니터링 및 예측 유지보수 기능은 장비 성능 및 활용도 최적화, 필요시 활용할 수 있는 예비 부품과 교체 부품을 확보하여 자재 관리의 효율성을 높임.

자료: 워터저털(2022), 한국수자원공사(2025C), 이충권등(2019)

나) 수익 증대 및 사회경제적 파급 효과

- 스마트 하수도 투자 사업은 생산유발효과 343조 7,330억 원, 부가가치유발효과 155조 8,675억 원, 취업유발효과 251만 8,470명 증가를 추정하는 등 국민경제적 파급 효과가 상당히 큰 것으로 나타났다. 이는 스마트 물관리 사업이 단순한 비용 절감을 넘어 국가 경제 전반에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

- 또한, 경주시는 자체 물 기술을 통해 4억 2천만 원의 수익을 창출한 사례가 있으며, 이는 스마트 물관리 기술이 새로운 수익 모델을 창출할 수 있음을 시사한다.

다) 환경적 편익

〈표 6-7〉 스마트 물관리 사업의 환경적 편익

지표	내용
탄소 저감	<ul style="list-style-type: none"> • 누수 저감은 물 생산 및 운송에 필요한 에너지 소비와 탄소 배출량 감소 • 1.1억㎥/년의 누수 저감은 27,447tCO₂/년의 탄소 저감효과와 소나무 20만 그루 대체 효과
수질 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 수질 감시 및 관리 고도화는 깨끗한 수돗물 공급 가능 • 이는 환경 개선과 국민 건강 개선으로 이어져 사회 후생 증대

자료: 워터저털(2023), 한국수자원공사(2025C), 김경태등(2019), 이충권등(2019)

3) 경제성 분석 방법론 및 주요 지표

- 스마트 물관리 사업의 경제성을 종합적으로 평가하기 위해서는 다양한 분석 방법론과 지표가 활용된다.

가) 비용-편익 분석(Cost-Benefit Analysis, CBA)(Fastercapital, 2025)

- CBA는 프로젝트의 모든 비용과 편익을 화폐 가치로 환산하여 비교하는 방법론이다. 핵심 평가 지표에는 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR), 투자 회수기간(Payback Period) 등이 포함된다. 분석 시에는 사중효과(deadweight), 대체효과(displacement), 귀인효과(attribution), 감소효과(drop-off) 등 외부 요인을 고려하여 최종 영향을 산정해야 한다.

〈표 6-8〉 CBA 지표

지표	내용
순현재가치(NPV)	<ul style="list-style-type: none"> • NPV는 미래에 예상되는 편익을 현재 가치로 환산한 뒤, 동일하게 산출한 비용을 뺀 값으로 정의된다. 일반적으로 NPV가 0을 초과하면 사업은 경제성이 있는 것으로 봄
내부수익률(IRR)	<ul style="list-style-type: none"> • 프로젝트의 NPV를 0으로 만드는 할인율로, IRR이 자본 비용보다 높으면 경제성이 있다고 판단
회수기간	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 투자금을 회수하는 데 걸리는 시간, 회수기간이 짧을수록 경제성이 높음

나) 사회적 투자수익률(Social Return on Investment, SROI) 및 민감도 분석

- SROI는 사회적 가치를 화폐 가치로 측정하여 투자 대비 사회적, 환경적, 경제적 편익을 종합적으로 평가하는 방법론이다(서성아, 2017). 스마트 하수도 사업의 경우 환경 개선과 국민 건강 개선을 통한 사회 후생 증가가 SROI의 중요한 요소가 될 수 있다(김성태 등, 2019).
 - 민감도 분석: 가정, 매개변수 또는 데이터의 변화가 분석 결과에 미치는 영향을 평가하는 것으로, 다양한 시나리오나 상황의 결과를 조사하여 최적의 산출치를 도출한다. 이는 불확실성이 높은 프로젝트의 의사결정에 중요한 정보를 제공한다(Fastercapital, 2025).

4) 스마트 물관리 사업 경제성 분석 국내외 사례(박재명, 2023)

- 스마트 물관리 기술의 도입은 국내외에서 다양한 경제적 효과를 입증하고 있다.
 - 누수 감지 시스템: 영국 스마트 플로우(SMART FLOW)는 누수 감지 시스템을 통해 고객에게 연간 5억 리터 이상의 절수 효과와 125만 유로(약 17억 원) 이상의 비용 절감 효과를 제공했다. 이는 스마트 수도미터 설치를 통해 누수를 신속하게 식별하고, 정교한 알고리즘으로 문제를 감지하여 사용자에게 알림으로써 용수 비용을 관리하고 줄이는 데 기여한다. 국내에서도 AI 기술을 활용한 누수 탐사 시스템은 탐사 시간을 대폭 줄이고 정확도를 향상시켜 비용 절감에 기여한다.
 - 실시간 모니터링 시스템: 위플랫(WI.Plat)에서 개발한 AI 모델은 상수도 관망에 부착된 누수 센서와 수압센서를 활용하여 누수 발생 여부와 위치를 탐지하며, 음향 데이터와 수압 데이터의 상관 관계 및 인공지능 모델의 높은 정확도를 통해 효율적인 누수 관리가 가능하게 하여, 국내외 다양한 지역에서 누수로 인한 경제적 손실을 억제하는 데 이바지했다.
 - 펌프 에너지 효율화: AI 모델이 적용된 가압장 내부에서는 개별 펌프의 유량을 실시간으로 제어하여 판단 시간을 8시간에서 10분 이내로 단축하고, 펌프당 2,600만 원의 탐지 비용을 절감했다. 예측 정확도는 85% 이상으로 높게 나타나 펌프별 성능 지표를 실시간으로 모니터링할 수 있게 되었다. 이는 물 생산과 수송에 드는 에너지 과다 사용 문제를 해결하고 물 관리의 효율성을 높이는 데 기여한다(환경산업기술원, 2020).

〈표 6-9〉 스마트 물관리 기술별 경제적 효과 및 분석 지표

기술 분야	주요 경제적 효과	분석 지표	국내외 사례
누수 감지 및 저감	수도 요금 절감, 물 손실 감소, 수자원 확보, 생산원가 절감	유수율 향상, 누수량 저감액, 수자원 확보량	• 영국 스마트 플로우(연 17억 원 절감), 국내 지방 상수도 현대화 사업(연 3.8조 원 경제 효과)
에너지 효율화	에너지 소비 감소, 운영비 절감	에너지 투입 비용 절감률, 운영비 절감액	• 지열원 히트펌프(경유 보일러 대비 25.8% 비용 절감), AI 기반 펌프 유량 제어(펌프당 2,600만 원 절감)
실시간 모니터링	운영 효율성 향상, 예측 유지 보수, 재고 관리 최적화, 수질 관리	시스템 효율성 향상률, 유지보수 비용 절감액, 수질 개선 효과	• 위플렛 AI 모델(누수 탐사 시간 단축, 정확도 향상), ICT 통합 모니터링 시스템(주민 신뢰성 제고, 경제적 손실 억제)
종합적 파급 효과	생산/부가가치/취업 유발 효과, 사회 후생 증대	생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 탄소 저감량	• 스마트 하수도 투자 사업(생산유발 343.7조 원, 취업유발 251.8만 명), 탄소 저감(연 27,447tCO ₂)

라. 스마트 물관리 사업을 위한 사회적 분석

- 스마트 물관리 사업은 물 이용의 효율성을 높이고 국민의 삶의 질을 향상시키는 데 기여할 수 있다. 하지만 동시에 정보 격차 및 디지털 소외, 개인정보 침해 우려, 초기 투자 비용 부담, 일자리 변화 등의 새로운 사회적 과제를 야기할 수도 있다(윤영만, 2017).

〈표 6-10〉 스마트 물관리에 따른 사회적 영향

구분	내용
긍정적 영향	물 복지 향상 <ul style="list-style-type: none"> 효율적인 물 관리를 통해 물 부족 지역에 안정적인 물 공급, 취약계층의 물 접근성 개선, 국민 건강 증진에 기여 누수 저감 및 수질 개선으로 깨끗하고 안전한 물 공급 가능
	경제적 효과 <ul style="list-style-type: none"> 물 사용량 절감은 기업 및 가계의 수도요금 부담을 경감시키고, 누수 저감은 상수도 운영기관의 유지보수 비용 절감 SWM 관련 기술 개발 및 사업 확장은 새로운 일자리 창출과 관련 산업 성장
	시민 참여 증진 <ul style="list-style-type: none"> 스마트 미터링 등을 통해 물 사용 정보를 실시간으로 제공으로 시민들의 물 절약 의식 고취 및 물 관련 문제에 대한 관심과 참여를 유도
부정적 영향	정보 격차 및 디지털 소외 <ul style="list-style-type: none"> SWMS 도입 시 새로운 기술에 대한 접근성 부족 등의 정보 취약계층 발생 - 이에 대한 교육 및 지원 방안 마련 필요
	개인정보 침해 우려 <ul style="list-style-type: none"> 스마트 미터링을 통해 수집되는 물 사용량 데이터는 개인의 생활 패턴을 파악하는 데 활용 - 개인정보 보호를 위한 강력한 법·제도 마련이 필요
	초기 투자 비용 부담 <ul style="list-style-type: none"> 스마트 물관리 시스템 구축에는 상당한 초기 투자 비용 소요 - 재원 조달 방안, 장기적인 경제적 효과 분석 기반 사업의 타당성 확보
	일자리 변화 <ul style="list-style-type: none"> 자동화된 시스템 도입으로 인해 일부 물 관리 분야에서 인력 수요 감소 - 직업 전환 교육 및 재배치 프로그램 마련을 통해 사회적 갈등 최소화

마. 스마트 물관리 사업을 위한 환경성 분석

- 스마트 물관리 사업은 수자원 보전, 수질 개선 및 오염 예방, 에너지 절감 등 수자원의 지속가능성을 확보하고 환경 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 수행한다.

〈표 6-11〉 스마트 물관리에 따른 환경적 영향

구분		내용
긍정적 영향	수자원 보전 및 효율적 이용	<ul style="list-style-type: none"> 물 부족 문제 해결에 기여하고 지하수 고갈 및 하천 건천화 방지에 도움 - 누수 감지 및 복구, 최적화된 물 공급 시스템 운영을 통해 물 낭비를 최소화하고 수자원의 효율적 이용 극대화
	수질 개선 및 오염 예방	<ul style="list-style-type: none"> 정수처리 효율을 높여 깨끗한 물 공급에 기여 - 실시간 수질 모니터링을 통해 오염원을 조기에 감지하고 신속하게 대응함으로써 수질 오염 사고를 예방
	에너지 절감 및 온실가스 감축	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량 감축으로 이어져 기후변화 대응에 기여 - 물 생산, 공급, 처리 과정에서 발생하는 에너지 최적화로 효율 향상 도모
	생태계 보호	<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 수량 및 수질 관리는 수생태계 건강성 향상 생물 다양성을 보존하는 데 중요한 역할 수행
부정적 영향	전자 폐기물 발생	<ul style="list-style-type: none"> 친환경적인 재활용 및 폐기 방안 마련이 필요 - SWMS의 센서, 통신 장비 등은 수명이 다한 전자 폐기물 친환경 처리
	에너지 소비 증가 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 효율적인 에너지 관리 시스템 구축 및 신재생에너지 활용 방안을 모색 필요 - SWM 시스템 운영을 위한 에너지를 소비

바. 결론 및 제언

- 개발도상국의 물 인프라 수요 증가와 재정적 한계는 민관협력(PPP) 방식과 국제기구 및 개발은행(MDBs)과의 협력을 통한 투자 유치 및 위험 분담의 중요성을 더욱 부각시킨다. 스마트 물관리 기술의 도입은 이러한 해외 진출 프로젝트의 경제성을 크게 향상시킬 잠재력을 가지고 있다.
- 민간투자 유도를 위한 재정 인센티브는 해외 PPP 사업의 초기 진입 장벽을 낮추고 민간의 참여를 적극 유도하는 핵심 수단이다. 직접 보조금, 세금 감면, 그리고 한국수출입은행과 같은 정책금융기관의 장기 저리 대출 및 보증 지원은 민간 기업의 재정적 위험을 경감시키는 데 필수적이다. PPP는 단순한 자금 조달을 넘어, 프로젝트의 장기적인 특성에서 발생하는 다양한 위험을 효율적으로 배분하고 관리하는 메커니즘으로 기능한다. 따라서 각 참여자가 가장 잘 통제할 수 있는 위험을 분담하고, 적절한 보험 가입, 유연한 계약 구조, 그리고 MDB 연계를 통한 정치적 위험 완화 방안을 적극적으로 모색해야 한다.

- 국제기구 및 개발은행(MDBs)과의 협력은 국내 물기업의 해외 진출에 있어 강력한 촉매제 역할을 한다. 세계은행(World Bank), 아시아개발은행(Asian Development Bank), 유럽부흥개발은행(European Bank for Reconstruction and Development) 등은 개발도상국의 물 인프라 수요에 대한 주요 자원 제공자이자, 사업의 안정성을 높이는 위험 완화자 역할을 수행한다. 이들 기관은 대출, 보조금, 기술 지원 등 다양한 형태로 금융을 제공하며, 특히 기후변화 대응, 디지털 전환, 지속 가능한 개발 등 물 분야의 핵심 트렌드에 맞춰 지원 전략을 고도화하고 있다. 국내 기업은 ODA 연계 및 G2G/B2B 협력을 강화하고, 베올리아, 수에즈와 같은 글로벌 메이저 물기업과의 전략적 제휴를 통해 시장 진입 및 사업 성공 가능성을 높여야 한다. MDB의 엄격한 환경 및 사회적 표준 준수는 국내 기업의 지속 가능한 사업 수행 역량을 강화하는 계기가 될 수 있다.
- 스마트 물관리 사업의 경제성 분석은 첨단 ICT 기술이 물산업에 가져올 혁신적인 가치를 명확히 보여준다. IoT 센서 기반의 실시간 모니터링, AI 알고리즘을 활용한 누수 감지 및 최적화, 그리고 에너지 효율화 기술은 누수 저감, 에너지 소비 감소, 운영비 절감 등 직접적인 비용 절감 효과를 가져온다. 나아가 생산 유발, 부가가치 유발, 취업 유발 등 거시적인 사회경제적 파급 효과와 탄소 저감, 수질 개선 등 환경적 편익까지 창출한다. 이러한 경제적 가치는 비용-편익 분석(CBA)과 사회적 투자수익률(SROI) 등 정량적 분석 방법론을 통해 입증될 수 있으며, 실제 국내외 사례를 통해 그 효과가 확인되고 있다. 국내 물산업의 R&D 투자 부족은 스마트 물관리 기술 개발 및 적용에 있어 제약 요인이 될 수 있으므로, 정부 차원의 적극적인 R&D 지원과 기술 개발 투자가 시급하다.
- 성공적인 스마트 물관리 사업 추진을 위해서는 기술적인 측면과 아울러 사회적, 환경적 측면을 종합적으로 고려한 정책 수립이 필수적이다. 따라서 포용적 기술 도입을 통한 정보 취약 계층을 위한 교육 및 지원 프로그램을 통해 스마트 물관리 시스템 접근성을 높여야 한다. 다음으로 개인 정보 보호 강화를 통한 데이터 수집 및 활용에 대한 명확한 기준을 마련하고, 강력한 보안 시스템을 구축하여 개인정보 침해 우려를 해소해야 한다. 또한, 지속 가능한 경제성 확보를 위해 장기적인 관점에서 사업의 경제적 효과를 분석하고, 다양한 자원 조달 방안을 모색이 필요하다. 마지막으로, 친환경적인 시스템 구축을 통해 전자 폐기물 발생을 최소화하고, 에너지 효율을 극대화하는 친환경적인 기술 및 운영 방식을 도입해야 한다.
- 종합적으로 볼 때, 현지 물산업 활성화를 위해서는 민간의 풍부한 자본과 기술을 유치하기 위한 다각적인 재정 인센티브를 제공하고, PPP 사업의 고유한 위험을 효과적으로 분담하는 메커니즘을 구축해야 한다. 또한, 국제기구 및 개발은행과의 전략적 협력을 통해 대규모 프로젝트 참여 기회를 확대하고, 국제 표준에 부합하는 사업 수행 역량을 강화해야 한다. 마지막으로, 스마트 물관리 기술의 경제적 가치를 명확히 분석하고 이를 현지

프로젝트에 적극적으로 적용함으로써 사업의 수익성과 지속가능성을 동시에 확보하는 것이 중요하다.

- 스마트 물관리 사업은 미래 세대를 위한 지속가능한 물 관리 시스템을 구축하는 데 핵심적인 역할을 할 것이다. 사회적 합의와 지속적인 관심, 그리고 정책적 지원을 통해 성공적인 스마트 물관리 사업을 추진하여 물 문제 해결에 기여하고 지속가능한 사회를 구현해 나갈 수 있다.

제7장

한국-키르기스공화국 협력을 통한 지식 공유 및 역량 강화

1. 연구 결과 공유 및 이해관계자 협력 방안
2. 정책 실무자 대상 한국 연수 프로그램

한국-키르기스공화국 협력을 통한 지식 공유 및 역량 강화

1. 연구 결과 공유 및 이해관계자 협력 방안

가. 키르기스공화국 정부 및 기관 협력 방안

- 방안 1. 정책·기술 연계 협력 체계 구축
 - 비슈케크시 상하수도관리국, 국가 식수 및 하수처리청, 오쉬 시청 등 핵심 물 관리 기관과의 실무협의 채널을 공식화하여, 로드맵의 정책 반영 가능성을 높인다.
 - 정기 회의(온라인·오프라인 병행)와 공동 워크숍을 통해 정책 요구사항과 기술 적용 가능성을 주기적으로 점검하고, 필요 시 기술 사양 및 사업 계획을 조정한다.
- 공동사업 발굴 및 지속가능한 협력 기반 마련
 - 한국과 키르기스 양국 기관 간 MOU 체결을 기반으로, 시범사업·기술이전·교육훈련 프로그램 등 후속 협력 과제를 공동 발굴한다.
 - 로드맵 실행 과정에서 단계별 지원(데이터 제공, 기술 자문, 운영 매뉴얼 공유 등)을 통해 현지 실행력을 높이고, 향후 국제개발협력(ODA) 및 투자 연계 사업으로 확대한다.

나. 연구 결과 발표 및 정책 제언

- 조사·분석 결과와 스마트 물관리 도입을 위한 정책 제언 및 현황 분석
 - 관망 노후화, 누수율 증가, 제한적인 실시간 모니터링 체계 등 운영상의 문제점을 확인한다.

- 정수장 및 배수지 운영의 자동화 수준 미흡, 유지관리 인력 및 예산 부족 문제를 진단한다.

- 정책 제언

- 누수 저감: 노후관망 교체와 스마트 센서 기반의 실시간 수압·누수 모니터링 시스템 도입을 계획한다.

- 운영 효율화: 정수장 공정 자동화 및 에너지 절감 기술을 적용한다.

- 데이터 기반 의사결정: 상수도 운영 데이터 통합 관리 및 분석 플랫폼을 구축한다.

- 역량 강화: 운영 인력 대상 기술 교육 및 현장훈련 프로그램을 정례화한다.

- 단계적 도입 전략: 재정·기술 여건을 고려한 시범사업 확대 적용 순의 추진 계획을 수립한다.

2. 정책 실무자 대상 한국 연수 프로그램

가. 한국 방문 연수 프로그램 기획

- 정책 실무자 대상 한국 방문 연수 프로그램은 스마트 물관리 기술과 운영 경험을 직접 학습하고, 이를 키르기스공화국의 물 관리 정책 및 기술 개선에 적용하기 위해 기획되었다. 연수는 중간보고회, 전문 강의, 주요 시설 현장견학, 기업 방문, 문화 교류 등으로 구성되었으며, 참가자가 정책·기술·문화 전반을 폭넓게 이해할 수 있도록 설계하였다.

- 연수 프로그램 개요

〈표 7-1〉 연수 프로그램 내용

날짜	연수프로그램 내용
1일차	<ul style="list-style-type: none"> • 협력국 방문 환영인사
2일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘현장견학(한국수자원공사 본사)’: 대한민국의 물관리기술 공유 - 견학 장소: 물관리종합상황실, 지하수정보분석센터, 가뭄정보분석센터, 수질센터)
3일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘중간보고회(D유니콘라운지)’: 로드맵 수립 및 현재까지 성과 및 피드백 공유 • ‘강의(D유니콘라운지)’: 상하수도 전문강사 초빙 후 강의 통해 협력국의 역량강화 진행 - 강의 주제: 물정책과 요금, 정수처리 공정, 현대화사업)
4일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘현장견학(대구물산업클러스터)’: 대한민국의 상하수도 역사 및 최첨단 물관련 보유기술 소개 및 실험 • ‘현장견학(구미 EMS AI 정수장)’: 정수 선진 정수 공정 확인
5일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘현장견학(대청댐 수력발전소)’: 원수 저장 및 소수력 발전을 통한 전력 보급 원리 및 방법 확인 • ‘현장견학(대전 시내)’: 스마트 IoT 제품을 통해 누수 및 수압 모니터링 장비 확인 및 협력국내 적용 방법 함께 논의 • ‘기업방문(삼진정밀)’: 국내 굴지의 밸브 업체 방문으로 국제사업을 통한 고도기술의 밸브 적용 검토 • ‘기업방문(부강테크)’: 세계 각지로 진출한 하수처리 기술 보유 업체 방문 후 폐기물 활용 통한 에너지 발생 기술 적용 검토
6일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘현장견학(수지 레스피아)’: 용인시 중앙에 체육시설과 함께 운영중인 하수처리장 견학으로 ICT 기술 및 악취제거 설계 통한 시내 무민원 운영 노하우 공유 • ‘문화체험(잠실롯데타워)’: 대한민국의 신기술로 설계된 마천루 방문 후 서울의 인프라 및 문화 경험
7일차	<ul style="list-style-type: none"> • ‘문화체험(경복궁)’: 전통 수도체계와 역사속 물관리 개념에 대해 재고하고 참가자간 교류와 상호 문화 인식 공유 기회 마련 • ‘문화체험(국립중앙박물관)’: 한국의 역사와 기술 발전 과정을 입체적으로 확인하고 협력의 사회문화적 기반 조성

나. 정책실무자 한국 방문 연수 프로그램(1일차 ~ 7일차)

- 1일차(7월 27일, (일)): 협력국 대표단 입국 및 환영 인사(대전 롯데시티 호텔)
 - 내용: 이번 연수는 연수의 개요를 소개하고 일정을 안내하는 자리로 마련되었으며, 한국 측 관계자인 위플렛 컨소시엄 책임연구원 차상훈 대표와의 첫 교류가 진행되었다. 이를 통해 연수 목적과 기대 성과를 공유함으로써 참가자들 간의 상호 이해를 높이고 신뢰를 형성하는 효과를 거두었다.

[그림 7-1] 대표단 입국 및 환영 인사

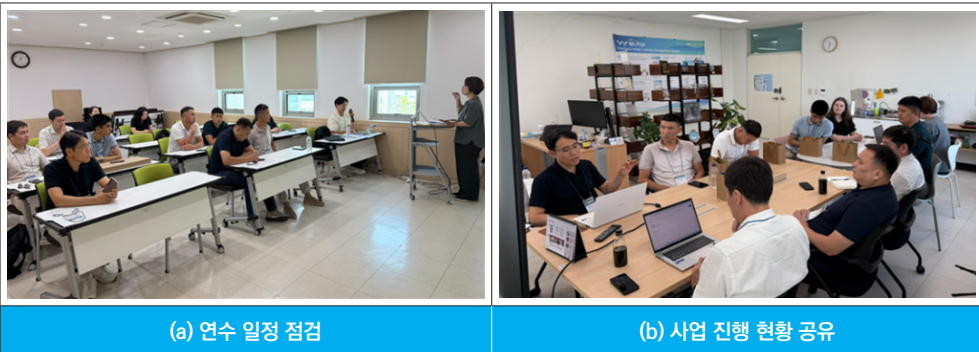


(a) 환영 인사

(b) 호텔 입실

- 2일차(7월 28일, (월)): 위플렛 본사 방문 및 미팅, 한국수자원공사 본사 견학
 - 내용: 7일간의 연수에 대한 세부 일정이 참가자들에게 공유되었으며, 이어서 위플렛 컨소시엄이 추진하고 있는 스마트 물관리 사업에 대한 소개가 진행되었다.

[그림 7-2] 초청연수 오리엔테이션



(a) 연수 일정 점검

(b) 사업 진행 현황 공유

- 2) 대전 한국수자원공사 본사를 방문하여 인재개발원 국제교육부장과 면담을 진행한 뒤, 국가 차원의 통합 물관리 시스템과 수자원 모니터링 체계를 확인하였다. 이 과정에서 물관리종합상황실, 지하수정보분석센터, 가뭄정보분석센터, 수질센터 등을 직접 살펴 보았다.

[그림 7-3] 한국수자원공사 본사 견학



- 3일차(7월 29일, (화)) : 중간보고회 개최, 상수도 전문가 강의
 - 내용: 프로젝트는 한국수출입은행의 설명을 통해 협력국의 물관리 현황과 ICT 인프라의 한계, 기후변화 및 노후화된 관망으로 인한 주요 도전과제를 제시하며 그 배경과 추진 경과가 공유되었다. 이어서 로드맵 수립을 위한 중간보고회에서는 스마트 물관리 전략에 관한 주요 내용이 보고되었으며, 이는 시설, 요금, 제도 측면에서 단계적으로 추진할 수 있는 전략을 중심으로 다루어졌다. 또한 질의응답 과정에서는 자원 조달 방식(Grant, EBRD Loan, PPP 등), 스마트 시스템 도입 시 발생하는 초기 비용을 현지 기관이 감당할 수 있는지 여부, 한국의 경험 가운데 키르그즈 여건에 우선적으로 적용 가능한 기술, 지방 도시 간 형평성 확보 방안 등이 주요 쟁점으로 논의되었다.

[그림 7-4] 중간보고회 진행



- 1) 강의 1: 정주희 팀장(UNESCO I-WSSM / 한국수자원공사): 한국의 물정책 및 요금
 - 첫 번째 강의에서 UNESCO I-WSSM 및 한국수자원공사의 정주희 팀장은 한국 물정책과 요금체계를 주제로 발표하였다. 그는 한국 물관리의 발전 과정과 제도적 기반을 소개하면서, 법 제정과 거버넌스 체계가 어떻게 구축되어 왔는지를 설명하였다. 특히 요금정책이 단순한 재정 확보 수단이 아니라 수요 관리, 형평성, 환경정책을 동시에 구현하는 중요한 수단임을 강조하였다.

2) 강의 2: 신경진 센터장(한국수자원공사 송산교육센터): 한국의 상수도과 정수처리

- 두 번째 강의에서는 한국수자원공사 송산교육센터의 신경진 센터장이 한국의 상수도와 정수처리에 대해 강연하였다. 그는 한국의 지리적·기후적 특성과 그로 인한 물자원 제약을 설명한 뒤, 정수처리 공정을 상세히 소개하였다. 이어서 수질 기준과 운영의 특징을 설명하면서, 고도처리 공정, ICT 기반 실시간 모니터링, 에너지 효율적 운영 방식을 사례로 제시하였다. 또한 이러한 기술들이 협력국에도 적용될 수 있는 이유를 강조하며, 처리기술 현대화와 소규모 정수장 효율 개선에 활용 가능성을 보여주었다.

3) 강의 3: 주성훈 차장(한국수자원공사 지방수도처): 지방상수도 현대화 사업 사례

- 세 번째 강의에서는 한국수자원공사 지방수도처의 주성훈 차장이 지방상수도 현대화 사업 사례를 소개하였다. 그는 한국 지방 상수도가 겪고 있는 노후관로 문제, 재정 부족, 지역 간 서비스 격차를 해결하기 위해 추진된 한국수자원공사의 위탁 사업을 설명하였다. 이와 같은 경험이 협력국에도 적용될 수 있으며, 특히 NRW 저감과 재정 개선의 핵심 모델로 활용될 수 있음을 시사하였다.

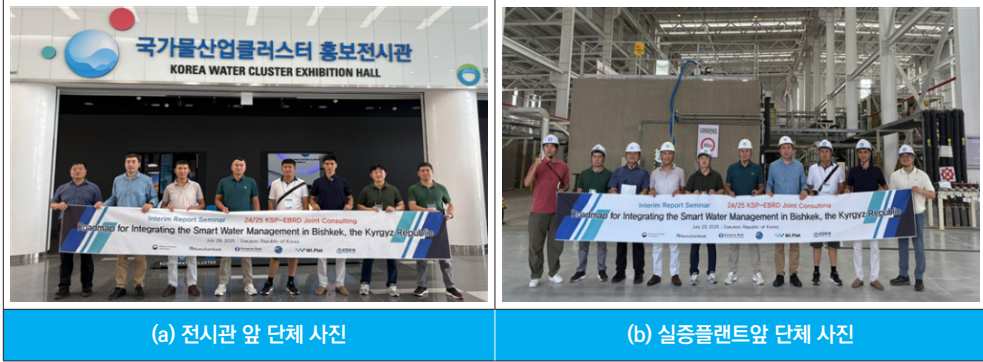
[그림 7-5] 상수도 전문가 강의



- 4일차(7월 30일, 수) : 대구 물산업클러스터 견학, 구미 정수장(EMS 기반 디지털 정수장) 현장견학

- 내용: 연수 과정에서는 한국의 물산업 연구·실증 거점인 물산업 클러스터를 방문하였다. 참가자들은 홍보관에서 한국 상하수도의 발전 역사와 주요 기술 보유 현황을 살펴보았으며, 재료실험실과 실증플랜트를 견학하면서 신기술 검증 및 상용화 절차를 직접 확인하였다. 이를 통해 협력국 참가자들은 클러스터가 가진 연구개발-실증-사업화의 연계 구조를 이해하게 되었고, 이를 바탕으로 키르기스공화국 내 물산업 육성 가능성에 대해 논의하는 시간을 가졌다.

[그림 7-6] 대구물산업클러스터 견학



(a) 전시관 앞 단체 사진

(b) 실증플랜트앞 단체 사진

- 연수단은 한국수자원공사 구미지사 권역에서 운영 중인 EMS 기반 디지털 정수장을 방문하여 품질 관리 체계와 자동화 기반 정수처리 공정을 직접 확인하였다. 현장에서는 ICT와 SCADA 시스템이 적용된 디지털 정수장 운영 방식이 소개되었으며, 이를 통해 정수장 현대화와 디지털 운영 시스템이 키르기즈 정수장 개선과 에너지 절감에 적용될 수 있음을 강조하였다. 참가자들은 이러한 운영 방식이 제공하는 효율성과 신뢰성 제고 방안에 대해 활발히 토론하였다.
- 또한 참가자들은 자동화 SCADA 시스템 도입 시 발생할 수 있는 전력 소모와 유지관리 부담에 대해 질문을 제기하였으며, 디지털 정수처리 공정이 소규모 도시나 산악 지역과 같은 여건에서도 적용 가능할지에 대해 논의하였다.

[그림 7-7] 구미 정수장(EMS 기반 디지털 정수장)



(a) 정수장 개요 설명

(b) 구미권지사 방문 단체 사진

- 5일차(7월 31일, 목) : 한국수자원공사 대청댐 방문, 스마트 누수 및 수압 관리 현장 견학 및 상하수도 보유 기술 방문
- 내용: 연수단은 다목적댐의 운영 방식을 살펴보며 저수, 발전, 급수 기능을 종합적으로 확인하고, 수력발전 운영 사례를 통해 재생에너지와 물관리가 융합된 모델을 직접 학습하였다. 이를 통해 협력국 참가자들은 수력발전과 수자원 관리의 연계가 기후변화 대응과 에너지 절감에 기여하는 대표적인 사례임을 이해하게 되었다.

[그림 7-8] 대청댐 방문



- 내용: 대전 시내에서는 IoT 기반 스마트 센서를 활용한 누수 탐지와 수압 감시 기술이 시연되었으며, 이를 통해 지하 시설물에 적용된 사례와 유지관리 노하우가 공유되었다. 협력국 참가자들은 이러한 경험을 바탕으로 자국의 관망 구조에 스마트 기술을 접목할 수 있는 방안에 대해 논의하였다.
- 이어 삼진정밀을 방문하여 국내 대표적인 밸브 제조업체의 다양한 밸브 기술과 수도 관망 내 적용 사례, 그리고 해외 프로젝트에 활용된 경험을 소개받았다.
- 또한 부강테크에서는 바이오가스를 활용한 하수처리 및 에너지화 기술이 소개되었으며, 소규모 하수처리시설 운영 사례를 통해 에너지 자립형 하수처리 모델의 가능성이 제시되었다.

[그림 7-9] 기업 방문



- 6일차(8월 1일, 금) : 용인 수지 레스피아 하수처리장 견학, 문화 체험
 - 내용: 연수단은 대규모 도시형 하수처리장을 방문하여 공정 체계와 운영 방식을 직접 확인하였다. 현장에서는 ICT 기반 운영 시스템, 악취 저감 설계, 주민 민원 최소화 방안 등이 설명되었으며, 체육시설과 함께 운영되는 복합형 모델을 통해 도시와 환경이

공존하는 사례가 제시되었다. 협력국 참가자들은 이러한 하수처리시설 현대화가 도시 환경 관리와 지역 주민의 삶의 질 향상, 그리고 민원 해소에 기여할 수 있음을 학습하였다.

[그림 7-10] 수지 레스피아(용인 하수처리장) 방문



- 내용: 연수단은 대한민국을 대표하는 초고층 건축물인 롯데타워를 방문하여 최신 기술과 도시 인프라를 직접 확인하고, 한국의 경제·기술 발전상을 체험하였다. 협력국 참가자들은 이를 통해 단순한 관광 차원을 넘어 첨단 기술과 도시 인프라가 물관리 시스템 및 생활환경과 어떤 방식으로 결합되는지를 이해하게 되었다.

[그림 7-11] 서울 문화 체험



• 7일차(8월 2일, (토)) : 문화 체험(경복궁, 국립중앙박물관 방문)

- 내용: 연수단은 한국의 대표적인 궁궐이자 역사·문화유산인 경복궁을 방문하여 전통 수도체계와 역사 속 물관리 개념에 대한 설명을 듣고, 과거와 현재 물관리 방식의 차이를 이해하였다. 이 과정에서 참가자들 간의 교류가 이루어져 문화적 소통과 상호 인식을 공유할 수 있는 기회가 마련되었다. 협력국 참가자들은 한국의 역사적 물관리 철학과 제도를 학습하며, 이를 현대의 스마트 물관리와 비교해 보는 시간을 가졌다.

[그림 7-12] 경복궁 앞 단체사진



- 내용: 연수단은 전시 관람을 통해 한국의 역사와 기술 발전 과정을 확인하며, 고대부터 현재까지 이어져 온 사회·기술적 변화와 물관리 방식의 진화를 학습하였다. 또한 물 관련 유물과 과학기술 발전 전시를 통해 정책, 기술, 문화가 서로 긴밀히 연결되어 있음을 체감하였으며, 이를 통해 협력국 간 사회·문화적 이해를 심화하고 향후 협력의 문화적 기반을 다지는 계기를 마련하였다.

[그림 7-13] 국립중앙박물관 방문



다. 장기적 협력 프로그램 수립

- 지속적인 교류 체계 확립
 - 연수 종료 후에도 정기적인 온라인 회의 및 기술 자문 세션을 운영하여 사업 성과를 점검하고, 정책 개선 반영 여부를 지속적으로 논의한다.
 - 한국·키르기스 양국 주요 기관(비슈케크 상하수도관리국, 국가 식수 및 하수처리청, 오쉬 시청, 한국수자원공사, 위플렛 컨소시엄 등) 간 정례 협력 플랫폼을 구축하여 장기적 네트워크를 유지한다.

- 교육·훈련의 제도화 및 현지화
 - 키르기스공화국 내 상수도 운영 인력과 지방 공무원을 대상으로 정기적인 역량 강화 교육 프로그램을 운영한다.
 - 한국어·러시아어·키르기스어 매뉴얼과 교육자료를 제작·보급하여 현지 인력이 자립적으로 기술을 습득할 수 있는 기반을 마련한다.
 - 필요시 인증제도 도입을 검토하여, 교육 이수자에게 자격 인증을 부여하고 현지 채용 시장 경쟁력을 강화한다.
- 후속 공동사업 추진 및 국제협력 연계
 - 스마트 물관리 로드맵을 기반으로 파일럿 시범사업을 단계적으로 추진하여 성과를 검증하고, 이후 확산·확대 적용을 지원한다.
 - EBRD, KOICA, ADB 등 국제개발협력(ODA) 및 다자개발은행 자금과 연계하여 투자재원 조달을 다양화한다.
 - 공공-민간-국제기구가 함께 참여하는 PPP 기반 공동사업 모델을 모색하여, 현지 실행력과 재정 지속성을 동시에 확보한다.
- 지속가능한 협력 모델 구축
 - 기술이전, 현지 기업 참여, 제도 개선을 종합적으로 연계하여 자립적 물관리 역량을 강화한다.
 - 스마트 물관리 성과지표(NRW 저감률, 유수율 향상, 에너지 절감 등)를 기반으로 성과를 정량적으로 평가하고, 그 결과를 바탕으로 후속 협력을 설계한다.
 - 장기적으로는 키르기스 내 ‘스마트 물관리 교육·훈련센터’ 설립을 검토하여, 지속적인 교육과 연구개발의 거점으로 발전시킨다.

제8장

경제적 효과 및 자원 조달 전략

1. 키르기스공화국 스마트 물관리 시스템 도입 경제적 효과 분석
2. 사업 추진을 위한 자원 조달 및 투자 유치 방안

경제적 효과 및 자원 조달 전략

1. 키르기스공화국 스마트 물관리 시스템 도입 경제적 효과 분석

- 스마트 물관리 시스템은 단순한 기술 도입을 넘어, 도시 전체의 수자원 효율화, 에너지 절감, 운영 최적화, 추가 수익 창출 등 경제적·환경적 효과를 동시에 실현할 수 있는 핵심 기반이다. 본 절에서는 대상국의 인구, 물공급 현황, 에너지 소비구조 및 요금체계를 바탕으로 도입 효과를 수치 기반으로 분석하였다.

가. 경제성 분석 개요

- 키르기스공화국 스마트 물관리 시스템 도입 사업은 총 15년간 3단계에 걸쳐 추진되는 장기 프로젝트로서, 각 단계별로 시범 도입, 확대 구축, 자립 운영을 목표로 구성되었다. 각 단계는 아래와 같다:
- 1단계(1~3년, 시범사업): 약 5만 가구 또는 7개 소도시를 대상으로 성능 기반 시범사업이 추진된다. SCADA 및 IoT 플랫폼이 도입되며, 수도미터 설치 및 무수수량(NRW) 저감, 에너지 절감 등을 시범 수행한다. 요금제 법적 틀 수립 및 PPP 모델 초안도 포함되며, 총 사업비는 약 7백만 달러로, 무상 ODA 및 ADB TA(기술협력) 활용이 가능하다.
- 2단계(4~8년, 확대 구축기): 시 전체 또는 15만 가구(20개 소도시)를 대상으로 SCADA 및 스마트 장비 확대 도입, 성능 기반 운영 확대, 교육센터 및 디지털 역량강화 프로그램이 구축된다. 이 단계는 15백만 달러 규모의 유상차관(EBRD 등)을 기반으로 추진된다.
- 3단계(9~15년, 자립 정착기): 인공지능 기술 도입, 유지관리의 현지화, 전국 단위 확산을 목표로 하며, 요금 기반의 자체 자원 및 PPP 모델을 통해 지속가능한 운영체계를 구축하게 된다. 이 단계는 외부 자금이 아닌 수도요금 및 민간참여 기반의 자체 운영 체계를 전제로

한다.

- 본 3단계 구조에 기반한 경제성 분석은 물공급량, 전력 소비, 탄소 배출, 요금 수익 등의 요소를 고려하여, 수익성, 환경성, 운영 효율성 측면에서 다층적으로 수행되었다.

1) 분석 기준 및 조건

- 경제성 분석은 스마트 물관리 시스템 도입에 따른 중장기 재무적·환경적 편익을 산정하기 위해 수행되었다. 분석 기간 총 15년 중 3년차는 시범도입, 4~8년차는 시스템 확대 도입, 9~15년차는 BVK에 의한 운영단계로 구분하였다.
- 분석 인구는 1,100,000명을 기준으로 하며, 매년 2%의 인구 증가율을 적용하였다. 물 소비량은 1인당 하루 0.3톤으로 설정되었으며, 전체 물공급량은 이에 따라 증가하는 것으로 가정하였다. 현재 비슈케크시의 누수율(NRW)은 40%로 추산되며, 본 사업을 통해 이를 20% 수준까지 단계적으로 개선하는 것을 목표로 하였다.
- 물 1톤 생산에 필요한 전력 소비량은 0.35kWh로 설정하였고, 전기요금은 1kWh당 0.15달러로 적용하였다. 또한, 전력 사용에 따른 탄소 배출 계수는 1kWh당 0.45kg CO₂로 산정되었으며, 탄소배출권 판매 단가는 톤당 50달러를 기준으로 하였다. 수도요금은 톤당 0.10달러로 시작하며, 연 2%의 요금 인상률이 반영되었다.
- 본 분석에는 위의 조건을 토대로 한 절감 전력량, 탄소 감축 효과, 추가 요금 수익 등을 종합적으로 반영하였으며, 분석 과정에서 자금의 시간가치를 반영하기 위해 12%의 할인율을 적용하여 현재가치를 산정하였다. 이러한 기준은 현실성 있는 시나리오 기반의 경제성 평가를 가능하게 하며, 정책 결정과 재원 조달 전략 수립에 활용될 수 있다.

〈표 8-1〉 분석 기준 및 조건

구분	조건	구분	조건
총 인구	1,100,000명 (연 2% 증가)	전력단가	0.15 USD/kWh
LPCD (Liter Per Capita Day)	0.3톤	물 생산 에너지 소모	0.35kWh/톤
분석 기간	총 15년(2021~2035)	물 생산 에너지 소모	0.45kg CO ₂ /kWh
할인율	12%	탄소판매 단가	50 USD/톤
NRW 개선 목표	40% → 20%	수도요금	0.10 USD/톤 (연 2% 인상)

〈표 8-2〉 총 투자 및 편익

구분	조건	구분	조건
총 사업비	44.56M USD	총 절감 전력량	99.96M kWh
총 편익	33.77M USD	총 탄소 감축량	44,964톤 CO ₂
NPV (Net Present Value)	5.53M USD (할인율 12%)	요금 수익 기반 추가 수입	11.70M USD
B/C (Benefit-Cost Ratio)	0.76		

나. 총 투자비 및 편익 분석 결과

1) 총 투자비 및 구조

- 본 사업은 15년간의 장기적 로드맵에 따라 총 22,139,640 USD가 투자될 계획이다. 투자는 시범 구축(1~3년), 전면 확대(4~8년), 자립 운영(9~15년)의 3단계 구조로 나뉘며, 주요 설비 구축과 스마트 시스템 도입이 1~8년차에 집중된다.
 - 총 투자금액: 22,139,640 USD
 - 집행 기간: 2021년부터 2028년까지(8년간)
 - 평균 연간 투자비: 약 2.2백만 USD
 - 9년차 이후(2029~2035): 설비 투자 없이 운영성과 창출 시기로 전환
- 투자 항목은 다음과 같다:
 - 시설 현대화(7.4M USD): 노후 정수장, 펌프장 등의 기반 인프라 교체 및 보수
 - SCADA 및 통합제어시스템(2.0M USD): 실시간 모니터링과 제어 체계 구축
 - AI 기반 스마트 의사결정 시스템(8.0M USD): 누수 탐지, 에너지 최적화, 고객요금 관리 등 통합 시스템
 - NRW 및 에너지 저감 기술 설계(2.95M USD): 유량·압력 기반 DMA 설계 및 IoT 도입
 - 역량강화 및 교육훈련(0.42M USD): 운영인력의 디지털 역량 향상
 - 프로젝트 관리 및 리스크 대응 예산(1.37M USD): 사업 품질, 일정, 예비비 등

- 투자 재원은 초기 시범 단계(1~3년)는 무상ODA(Grant)와 기술지원(ADB TA)을 활용하고, 확대 구축 단계(4~8년)에는 총 15M USD 수준의 대외차관(EBRD 등)이 조달될 것으로 계획되어 있다. 이후 자립 운영 단계(9~15년)는 수도요금 기반 수익 및 PPP 방식으로 자체 운영된다.

2) 편익 분석

- 편익은 전력비 절감, 탄소배출권 수익, 추가 수도요금 수익의 세 가지 주요 항목으로 분석되며, 총 편익은 약 11,661,723 USD로 추산된다.
- 연간 전력비 절감 효과
 - 스마트 펌프 운영 및 NRW 저감으로 인해 연간 약 2,874,375 USD의 전력 절감
 - 에너지 소비량은 연간 약 8.4GWh 감소로 추정됨
- 탄소배출권 수익
 - 전력 절감을 통한 이산화탄소 감축량은 연간 약 3,794톤
 - 이를 50 USD/톤으로 환산 시 연간 약 86,231 USD, 15년간 약 646,734 USD의 수익 발생
- 추가 수도요금 수익
 - NRW 절감으로 확보된 잉여 수자원을 신규 수용가에 공급 시 발생하는 추가 요금 수입
 - 연간 약 300~560천 USD에 달하는 추가 수익 발생
 - 15년간 누적 수익 약 3,073,227 USD

3) 경제성 평가 결과

- 총 투자비는 약 44,563,650 USD, 총 편익은 33,771,903 USD로 재무적 B/C 비율은 0.76이다.
 - 단, 총 편익은 누수저감에 따른 잉여 수량의 공급을 포함하지 않은 가장 보수적인 편익에 해당하며, 누수저감에 따른 잉여 수량의 수요가 충분히 존재한다고 가정한 추가 수익 11.70M USD를 포함한 총 편익은 약 45.4M USD로 추정되어 B/C 비율은 1.02로 나타남.

- 따라서, 투자비용의 회수기간은 누수저감 수량의 수요가 충분하여 추가 수익이 발생할 경우 약 15년, 현재의 수요가 유지되어 누수저감 수량의 공급이 불가능한 경우 약 20년으로 예상됨.
- 그러나, 할인율 12%를 적용한 순현재가치(NPV)는 약 5,527,314 USD로 긍정적이다.
 - 일반적인 사업에서 사업비의 90% 이상이 초기(1~3년)에 투자되는 구조와 달리 본 사업의 투자는 2단계(6년차 이후) 투자비중이 45%로 높게 구성되어 할인율을 고려한 순현재가치가 높게 나타나는 특징이 있음
- 무상 ODA 30%, 유상 ODA 70%의 혼합 재원 방식으로 구성할 경우 투자 리스크를 줄이고, 수익의 확보가 가능하며 경제성이 충분한 사업으로 판단된다.

4) 결론

비록 단기적으로는 재무적 B/C 비율이 1.0 미만이지만, 스마트물관리 시스템의 도입은 중장기적으로 전력 비용 절감, 탄소 저감, 요금 수익 증가를 통해 투자비 회수 가능성과 지속가능성을 확보할 수 있다. 또한, 본 사업은 단순한 재정 수익을 넘어서 공공서비스 질 개선, 물관리 효율성 향상, 도시 회복탄력성 강화 등 사회·환경적 가치 창출이 함께 고려되어야 하는 구조적 사업으로 평가된다.

2. 사업 추진을 위한 자원 조달 및 투자 유치 방안

키르기스공화국의 스마트 물관리 시스템 도입사업은 약 4,456만 달러의 총 투자비가 필요한 중대형 인프라 사업으로, 초기 투자비의 자원 확보가 성공적인 사업 추진의 관건이다. 특히, 초기 5년간은 시스템 구축 및 디지털 기반 마련에 집중적으로 자본이 투입되며, 이후 10년간은 구축된 시스템의 지속 운영과 성과관리 중심의 비용 구조로 전환된다. 이에 따라 자원 조달은 초기 구축기(1단계)와 운영기(2단계)의 특성에 맞추어 다각적인 조달전략이 요구된다.

가. 혼합형 ODA 조달

- 본 사업은 공공성이 높고, 기후변화 대응 및 지속가능한 도시개발이라는 국제적 목표와 부합하므로, 무상 및 유상 ODA 자금의 혼합 조달이 매우 적합하다.
 - 무상 ODA(Grant)는 사업 타당성 조사, 제도 컨설팅, 역량 강화, 시범사업 등 초기 기반 마련에 우선 활용하며, 유상 ODA(Concessional Loan)는 주요 시설 구축, 장비 구매, 통합 시스템 도입 등 자본투자 중심 분야에 활용하는 것이 효과적이다.
- 전체 사업비 중 약 30%는 무상 ODA, 70%는 유상 ODA로 구성할 경우, 수원기관의 재정 부담을 낮추면서도 편익-비용비(B/C)를 1.0 이상으로 조정할 수 있어 경제성이 확보된다.
- 본 사업의 자원 조달은 한국과 국제개발금융기관의 다양한 ODA 수단을 전략적으로 연계하여 추진한다.
 - KOICA(한국국제협력단)는 무상원조를 통해 제도개선 컨설팅, 기술훈련, 시범사업 등 기반 조성에 필요한 초기 단계를 지원한다.
- 국제기구로는 ADB와 EBRD가 민관협력(PPP) 기반 디지털 전환 사업에 대해 공동 용자와 기술 협력을 제공한다.
 - 성과보장형 구조와 연계된 자원 활용이 가능하며, 사업의 구조적 설계에 적합하다. 또한 세계은행(WB)은 물, 기후, 디지털 융합형 프로젝트에 장기 용자를 제공하는 기관으로, 본 사업의 지속가능성과 기후정책 연계 효과를 제고하는 핵심 파트너로 활용 가능하다.

나. 민관협력(PPP) 모델

- 디지털 인프라 구축과 운영유지관리 영역에는 민간기업이 참여할 수 있도록 민관협력(PPP) 모델을 적용한다.
 - 성과보장형 계약(PBC)을 기반으로, 누수 및 에너지 저감 성과에 따라 민간 기업의 수익을 보장하는 구조를 설계한다.
- 예를 들어, NRW 저감을 통해 절감된 생산비용 또는 확보된 잉여 수자원을 신규 수요자에 공급함으로써, 발생하는 수익 중 일정 비율을 민간 기업과 공유하는 인센티브 체계를 구축할 수 있다.
 - 스마트 미터링, 인공지능 분석, SCADA 운영 등은 민간 기술기업에 위탁하고, 실적 기반의 계약을 체결함으로써 공공 재정 부담을 분산할 수 있으며, 기술 도입과 운영 효율성도 동시에 확보할 수 있다.

다. 탄소배출권(Credit) 연계 기후자원 확보

- 본 사업은 연간 약 3,800톤 이상의 이산화탄소(CO₂)를 감축할 수 있는 구조를 갖추고 있으며, 이를 통해 탄소배출권(CER 또는 VER)을 인증받아 국제 탄소시장 또는 자발적 시장에서 거래함으로써 기후자원을 확보할 수 있다.
 - 톤당 50 USD 수준의 시장가치를 기준으로 할 때, 15년간 약 400만 달러 이상의 수익 창출이 가능하며, 해당 수익은 운영비 또는 유지보수 재원으로 순환 투입할 수 있다.
 - 탄소 인증은 UNFCCC의 청정개발체제(CDM) 절차 또는 민간 검증기구(예: Verra, Gold Standard)를 통해 등록이 가능하며, 국제 파트너와의 공동 운영 체계를 마련하여 인증 절차의 효율성과 국제 신뢰도를 확보할 수 있다.

라. 자원 조달 방안

1) 다양한 금융 상품 활용 전략

- 세계은행(World Bank) 산하 국제개발협회(IDA)와 아시아개발은행(ADB)의 아시아개발기금(ADF)은 수원국의 재정 여건과 사업 성격에 따라 양허성 차관, 보조금, 기술 지원 및 역량 강화 프로그램 등 다양한 금융 수단을 제공하여 자금 조달의 유연성을 높이고 있다.(WBG, 2025(c); ADB, 2025(d)).

- 세계은행(World Bank) 산하 국제개발협회(International Development Association, IDA)나 아시아개발은행(ADB)의 아시아개발기금(ADF) 등은 양허성 차관을 제공하여 물 관련 프로젝트에 필요한 초기 자금을 지원하고 있다.
- 보조금(Grants)은 상환 의무가 없는 자금으로, 빈곤 퇴치 및 필수 인프라 구축에 중점적으로 활용되며, 사업의 재정적 지속 가능성이 낮거나, 재난 후 복구 등 긴급한 상황에 주로 사용된다(UNICEF, 2024; GEF, 2025).
 - 유엔(UN) 산하 기구들(예: UNICEF, UNDP)이나 글로벌 환경 기금(GEF) 등은 보조금을 통해 상수도 시설의 기본 설계, 기술지원, 역량 강화 등에 기여한다.
- 기술 지원 및 역량 강화(Technical Assistance & Capacity Building)는 재정 지원 외에도 프로젝트의 기획, 설계, 운영 과정에서 요구되는 기술적 자문과 인력 역량 개발을 포함하며, 이를 통해 사업의 지속성과 성공률을 제고한다. 이는 장기적으로 개발도상국이 자체적으로 인프라를 유지하고 확장할 수 있는 기반을 마련해 준다(UNDP, 2025(a); IMF 2024).
 - 국제통화기금(IMF)이나 유엔개발계획(UNDP) 등은 상수도 관련 정책 수립, 제도 개선, 인력 양성 프로그램 등을 지원하여 수해국의 물 관리 역량을 강화하고 있다.

2) 민간 자본 유치 및 파트너십 전략

- 공공 자금만으로는 개발도상국의 막대한 인프라 수요를 충족하기 어렵기 때문에, 국제기구는 공공-민간 파트너십(Public-Private Partnerships, PPPs), 혼합 금융(Blended Finance), 녹색 채권 및 지속가능 채권(Green/Sustainability Bonds) 등의 민간 부문의 참여를 적극적으로 유도하고 있다(IFC, 2025; ADB, 2008).
- 공공 부문과 민간 부문이 공동으로 참여하는 파트너십(이른바 PPPs, Public-Private Partnerships)은 정부와 민간기업이 협력하여 인프라 프로젝트를 추진하는 방식으로 민간의 효율성, 기술력, 자본을 활용하고, 정부는 인허가, 규제, 위험 분담 등의 역할을 수행한다.
 - 세계은행 그룹의 국제금융공사(IFC)는 개발도상국 정부와 민간기업 간의 PPP 프로젝트를 위한 자문 및 금융 지원을 제공한다. 이는 BOT(건설-운영-이전)나 BOO(건설-소유-운영)와 같은 형태로 진행될 수 있다.
- 혼합 금융(Blended Finance)은 공공 자금(보조금, 양허성 차관)을 활용하여 민간 자본(상업 차관, 지분 투자)의 위험을 줄이고 수익성을 높여 민간 투자를 유도하는 전략이다(OECD, 2025; EBRD, 2025(c)).

- 유럽부흥개발은행(EBRD)이나 아프리카개발은행(AfDB) 등은 혼합 금융을 통해 개발도상국 상수도 프로젝트에 민간 투자를 유치한다. 이는 공적개발원조(ODA)와 민간 투자를 결합하여 더 큰 규모의 자금을 동원할 수 있다.
- 녹색 채권 및 지속가능 채권(Green/Sustainability Bonds)은 환경적, 사회적 지속 가능성 목표를 가진 프로젝트에 자금을 조달하기 위해 발행하는 채권이다. 투자자들은 해당 프로젝트의 긍정적인 영향에 투자하는 형태이다(CBI, 2018; ICMA, 2025).
- 국제기구는 자체적으로 녹색 채권을 발행하여 상수도 인프라 등 친환경 프로젝트에 투자하거나, 개발도상국 정부가 이러한 채권을 발행하도록 지원한다.

3) 혁신적 자금 조달 메커니즘 개발 전략

- 전통적인 자금 조달 방식을 넘어 성과 기반 자금 조달(Results-Based Financing, RBF), 영향 투자(Impact Investing), 물 요금 현실화 및 보조금 개혁(Tariff Reform & Subsidy Reform) 등의 새로운 메커니즘을 탐색하여 재원을 다변화하고 있습니다.
- 성과 기반 자금 조달(Results-Based Financing, RBF)은 프로젝트의 특정 성과(예: 상수도 연결 가구 수 증가, 수질 개선 등) 달성 시 자금을 지급하는 방식이다. 이는 프로젝트의 효율성과 책임성을 높이는 데 기여한다(WBG, 2025(c); GPRBA, 2025).
 - 세계은행의 RBF 프로그램은 개발도상국의 상수도 프로젝트에서 구체적인 성과지표를 설정하고, 달성 여부에 따라 자금을 지급함으로써 효율적인 자원 배분을 유도한다.
- 영향 투자(Impact Investing)는 재무적 수익과 함께 긍정적인 사회적/환경적 영향을 동시에 추구하는 투자이다. 상수도 기반시설 투자는 명확한 사회적 영향을 가져오므로 영향 투자의 매력적인 대상이 될 수 있다(GIIN, 2025; UNDP 2025(b)).
 - 국제기구는 영향 투자 펀드를 조성하거나, 관련 투자자들을 개발도상국 상수도 프로젝트에 연결하여 자금을 유치한다.
- 물 요금 현실화 및 보조금 개혁(Tariff Reform & Subsidy Reform)은 장기적인 상수도 시설의 지속 가능성을 위해 개발도상국 정부가 물 요금을 현실화하고, 비효율적인 보조금을 효율적인 형태로 전환하도록 국제기구가 지원하고 자문한다. 이는 사용자가 비용을 일부 부담하게 하여 시스템의 재정적 자립도를 높이는 전략이다(WBG, 2025(d); ADB(e)).
 - 세계은행, 아시아개발은행 등은 정책 대화 및 기술지원을 통해 개발도상국의 물 요금 구조 개혁을 지원한다.

제9장

실행 계획 및 성과 관리 체계

1. 로드맵 실행 일정 및 단계별 계획
2. 도시별 차별화 포인트
3. 성과 측정 지표 및 모니터링 방안
4. 리스크 관리 방안

실행 계획 및 성과 관리 체계

1. 로드맵 실행 일정 및 단계별 계획

실행계획은 로드맵을 기준으로 1)시범 사업 추진 2)시범 사업 평가 및 제도 정비 3)전국 확산 및 지속가능성 확보의 단계별로 추진된다.

가. 1단계: 시범사업 추진(1~3년)

- 키르기스공화국의 스마트 물관리 1단계 시범사업(Performance-Based SWM Pilot Project)은 약 5만 가구 또는 7개 소규모 도시를 대상으로 수행되는 사업으로, 현재 약 40% 수준으로 추정되는 무수익수(NRW)를 30%까지 낮추고, 에너지 사용량은 15% 절감하는 것을 주요 목표로 한다. 총 사업비는 약 7백만 달러로, 주된 재원은 환경부 또는 KOICA의 무상 ODA 보조금이며, ADB 기술지원(TA)이 선택적으로 병행될 수 있다. 또한, 민관협력 확대를 위해 PPP 기본 구조 설계와 정책·법제 초안(최소 2건) 마련 및 PCP 제출을 병행한다.
- 사업은 네 가지 축으로 구성된다. 첫째, 시설 현대화: 노후 펌프 개보수, 밸브 자동화, 소독 시스템 성능 개선을 통해 물리적 인프라를 안정화한다. 둘째, 운영 디지털화: SCADA와 통합관제센터를 구축하고, 초기 단계의 스마트 의사결정 시스템을 도입한다. 셋째, NRW·에너지 전문 엔지니어링: 누수 탐지·복구 및 펌프 효율 최적화 등 성과기반 절감 프로젝트를 시범 적용한다. 넷째, 역량 강화: 현지 인력 초청연수와 표준 교육과정을 설계하여 유지관리 역량 내재화를 추진한다.
- 예상 연간 편익은 다음과 같다. 절감 수량 182.5만 m³, 전력 절감 638,750 kWh, CO₂ 감축 287톤/년. 이에 따른 전력비 절감 약 63,875달러, 탄소배출권 수익 약 14,372달러, NRW 절감분의 신규 공급에 따른 추가 요금수익 약 37,449달러가 추정된다(가정: m³당 전력 0.35kWh, 전력단가 0.10달러/kWh, 배출계수

0.00045tCO₂/kWh, 수도요금 연 2% 인상, 절감 NRW의 10%를 신규 수익으로 전환.)

- 본 시범사업은 2단계(확산·최적화)와 3단계(전국 확산·지속가능 운영)의 실증 기반으로, 기술 효과뿐 아니라 요금·검침 법제 정비, PPP 제도 설계 등 제도·재정 기반을 함께 마련한다.
- KPI(시범지역): NRW 10%p 감축, 에너지 10% 이상 절감, 계량 기반 요금부과 80% 이상, 정책 초안 2건 이상

〈표 9-1〉 1단계: 시범 사업 추진(로드맵 기준 1~3년)

구분	지표설명	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> • 키르기스공화국을 대상으로 스마트 물관리 시스템 시범 구축 및 운영을 통해 기반을 조성하고 성과 검증 • 노후 시설의 현대화, 스마트 운영의 기반 구축, 성과보장형 사업 모델의 실증, 그리고 요금 기반 물관리 체계로의 전환을 목표로 함 	
주요 추진 전략 및 과제	주요 시설의 현대화 및 자동화	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 정수장, 펌프장, 배수지, 관망 우선 정비 • 핵심 기반시설에 SCADA 기반의 원격감시 및 자동제어 시스템 도입 • 시범 DMA(District Metered Area) 구역을 설정, 유량·압력·수질 센서 설치
	스마트 미터링 시범 도입 및 요금 기반 관리체계 전환	<ul style="list-style-type: none"> • 수용가 대상으로 수도미터 설치 확대 • 스마트 수도미터(AMI) 시범 도입, 사용량 기반 체계로 전환 • 요금 정보의 디지털 수집·관리 체계 구축, 고객별 사용 패턴 분석 기반의 수요 관리 시범 실시
	스마트 의사결정 시스템 시범 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 통합 운영 시스템의 실증(누수 탐지, 자산 관리, 수질 경보, 에너지 최적화, NRW(무수수량) 관리, 요금 관리 및 고객 관리 기능 포함) • 인공지능 기반의 실시간 데이터 수집·분석·시각화 기능이 포함된 의사결정 대시보드 운영을 위한 통합 플랫폼 구축
	성과보장형 누수 및 에너지 저감 시범사업 실행	<ul style="list-style-type: none"> • 성과지표(누수율 감소, 에너지 절감량 등)에 따라 민간이 보상받는 Pay-for-Performance 방식 사업 확대 • 민간 기술기업 주도 NRW 감축 및 에너지 고효율화 사업 정규화
	성과보장형 누수 및 에너지 저감 시범사업 실행	<ul style="list-style-type: none"> • 절감된 물량 및 에너지 비용을 기반으로 사업비를 회수하는 성과 기반 모델 적용 • 누수 탐지·복구, 펌프 효율 최적화 시범사업을 통해 투자 성과 검증 및 구조 고도화
	정책 기반 조성 과 국제 협력 연계 추진	<ul style="list-style-type: none"> • 누수·에너지 절감 효과 기반의 성과보장형 사업 모델 표준화 • EBRD, KOICA 등 국제기구의 ODA(공적개발원조) 재원 유치를 위한 사업계획서(PCP) 작성 및 제출 추진 • 민간 참여 유도하기 위한 PPP(민관 협력) 기본구조 설계

※ 노후 관망 개량(블록시스템 구축 포함)과 정수장 스마트화는 충분한 사전검토와 성과 검증 기간이 필요하므로, 초기 단계에서는 제한된 범위에서 시범 적용하고, 본격적 확대는 2단계 이후로 추진한다.

나. 2단계: 시범사업 추진(4~8년)

- 스마트 물관리 2단계 사업(Expansion and Optimization)은 약 15만 가구 또는 20개 소규모 도시를 대상으로 확장 추진된다. 이 단계의 목표는 1단계 시범사업의 성과를 도시 전역으로 확산시켜, 무수수량(NRW)을 도시 차원에서 25% 이하로 줄이고, 에너지 사용량을 최소 10% 절감하는 것이다. 총 사업비는 약 1,500만 달러 규모로, 주요 재원은 유럽부흥개발은행(EBRD)의 정책금융 및 차관을 통해 조달된다.
 - 주요 사업 구성은 다음과 같다. 첫째, SCADA 시스템을 도시 규모로 확장하고, 주요 배수구역(DMA)에 스마트 수도미터, 압력 및 유량 센서를 보급하여 실시간 데이터 기반의 운영체계를 구축한다. 둘째, 모바일 관리 애플리케이션 및 통합 모니터링 플랫폼을 도입하여 고객 민원 처리, 검침 데이터 관리, 요금 징수 시스템을 연계한다. 셋째, 전문 교육·시험센터를 설립하고, 체계적 교육 프로그램을 운영하여 현지 인력의 운영·유지보수 역량을 강화한다. 넷째, 스마트 기술 기반의 NRW 진단 및 에너지 절감 프로젝트를 확대 적용하여 최적화된 운영 효율성을 확보한다.
 - 사업 성과가 달성될 경우, 연간 약 600만 톤의 물 절약과 200만 kWh의 에너지 절감이 가능할 것으로 예상된다. 이를 통해 탄소배출량이 연간 약 900톤 감축되고, 에너지비 절감 및 탄소배출권 판매를 합산할 경우 약 25만 달러 이상의 경제적 편익이 기대된다. 또한, 교육 프로그램 인증 인원은 30명 이상을 목표로 하여 인력 양성과 기술 내재화를 제도적으로 뒷받침하게 된다.
 - 본 단계는 단순한 시범 적용을 넘어, 도시 단위의 스마트 물관리 시스템을 정착시키고, 인적·제도적 기반을 마련하는 과정으로, 향후 전국 확산의 교두보 역할을 수행하게 된다.

〈표 9-2〉 2단계: 사업 확대 및 제도 정비(로드맵 기준 4~8년)

구분	지표설명	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> • 단계 시범 사업의 성과 평가 • 전국 확산을 위한 제도적 기반을 강화하여 민간 참여 확대 	
주요 추진 전략 및 과제	스마트 인프라의 단계적 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 1단계 시범 사업의 성공을 바탕으로 AMI 기반 스마트 수도미터를 모든 수용가에 단계적으로 확대 설치 • 정수·송수·배수·가정까지 연결되는 IoT 기반의 전 주기 감시체계 구축 • 통합 관제센터에서 실시간 데이터 처리와 분석을 통해 운영 관리 최적화 지원

〈표 9-4〉 계속

구분	지표설명	
주요 추진 전략 및 과제	성과보장형 민간 참여 사업의 본격 추진	<ul style="list-style-type: none"> 성과지표(누수율 감소, 에너지 절감량 등)에 따라 민간이 보상받는 Pay-for-Performance 방식 사업 확대 민간 기술기업이 주도하는 NRW 감축 및 에너지 고효율화 사업 정규화
	디지털 기술 표준화 및 인증체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 수도미터, 통신 모듈, 데이터 수집기 등 디지털 장비의 성능 시험 및 인증센터 설립 디지털 시스템 간 연동을 위한 국가 표준 통신 및 데이터 프로토콜 개발
	확대를 위한 법·제도 정비	<ul style="list-style-type: none"> ICT 기반 스마트 시스템 도입에 필요한 법적 기반 강화 및 기존물관리 관련 법률 개정 ICT 기술 적용을 위한 규제 완화 방안 추진(스마트 센서 설치 시 무선주파수 사용, 민간시설 접근 허용, 자동 염소 주입장치 등 공정 자동화 기기의 현장 적용을 위한 시범사업 특례 조항 마련 등) 데이터 보호 및 거버넌스 정비를 위해 데이터 등급화 체계 설정 데이터 수집 주체 책임 규정, 클라우드 저장 및 국외 전송 규제 등을 법제화 대상국 모델의 타 지자체 확산을 위한 중앙정부 주도 정책 수립을 통해 스마트 물관리 표준 모델을 개발, 타 지자체 대상 기술이전 및 교육 연계
	운영기관 및 인력의 디지털 전환 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> 수도공사 및 지방 공기업 대상 교육 프로그램 정기 운영 지역 기반 디지털 기술 생태계 육성 및 유지보수 내재화 추진

다. 3단계: 시범사업 추진(9~15년)

- 3단계는 국가 차원에서 스마트 물관리의 완전 확산과 자립 운영을 목표로 한다. AI 기반 고도기술(수요예측, 관망 최적화, 누수 자동탐지, 수질 위험 예측)을 적용하고, 운영·유지보수(O&M)를 현지화하여 외부 의존도를 줄인다. 성과보장형 Performance-Based Project를 제도화해 민간 투자·운영을 상시화하고, 지방 수도사업소 전반에 표준 운영매뉴얼과 데이터 표준을 정착시킨다. 인력 측면에서는 전국 단위 전문 교육·인증 프로그램을 상시 운영하여 기술 저변을 확장한다. 재원은 수도요금 수입과 PPP 기반의 자체 조달(Self-financing)로 전환한다. 이는 초기 차관 의존을 줄이고, 요금 체계의 신뢰성과 징수율 향상, 에너지 절감 성과를 재투자하는 선순환 구조를 확립하기 위함이다.

- KPI(전국): NRW 20% 이하, 에너지 10% 이상 절감, 계량 기반 요금부과 100% 달성 (공공·민간 전 수용가), 교육·인증 100% 달성, 성과기반 프로젝트 1건 이상 제도화.

〈표 9-3〉 3단계: 전국 확산 및 지속가능성 확보(로드맵 기준 9~15년)

구분	지표설명	
핵심목표	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 상수도 전면 디지털화 완성 • 현지 기술 내재화 및 생산 기반 확보 • 스마트 물관리 체계의 지속가능한 자립 운영 확립 	
주요 추진 전략 및 과제	국가 전체 상수도 전면 디지털화	<ul style="list-style-type: none"> • 전국 모든 상수도 시스템에 SCADA, AMI, IoT, AI 기반 운영 체계 전면 도입 • 공급, 수질, 고객, 요금, 설비 등 모든 운영 요소의 통합 관리 실현
	현지 기술 자립을 위한 디지털 장비 생산체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 대한민국 민간 업체와 협력하여 협력국내 내 디지털 장비 생산 공장 설립 • 현지 정부의 제도적 지원(세제, 인증, 부지 제공 등) 확보 • 유지보수 및 공급망 자립화 기반 확보
	전문 인력 양성 및 교육 제도화	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 대학 및 직업 훈련기관과 연계하여 스마트 물관리 전문 교육 과정 운영 • 디지털 운영·유지보수·데이터 분석 인력의 지속적인 양성 체계 마련
	스마트 물관리 성과의 국가 정책화 및 제도 정착	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 물 예산 프레임워크 구축 • 스마트 기술 도입, 민간 참여, 성과 관리 등을 포함하는 법·제도 정비 완결 • 외국 사례 대비 선도적인 국가 스마트 물관리 모델로 자리매김

2. 도시별 차별화 포인트

가. 비슈케크(Bishkek)시 - 대도시형 집중화 및 확장형 모델

- 광역 인프라 기반 활용: 중앙집중식 급수체계와 300개 이상의 지하수 관정, 1백만 명 이상의 공급 인프라를 기반으로 SCADA, AI 기반 통합 운영 시스템을 도입하기에 최적화되어 있다.
- 조기 효과 창출 가능한 시범 사업지: 전체 도시 중 약 20% 수준(약 5만 가구)을 대상으로 한 시범 사업이 가능하며, 인구 밀집도 및 기존 수도미터 인프라 일부 존재로 성과 측정과 확장이 용이하다.
- PPP 및 용자 기반 재원 조달 가능성: 수도공기업(BVK)의 행정 역량과 요금 기반 수익 구조가 비교적 갖추어져 있어 PPP 구조 설계 및 EBRD 용자 기반 사업 적용이 가능하다.
- 전면적 디지털 전환 추진 가능: AI 기반 의사결정 시스템, 전력 최적화, 실시간 수질 모니터링 등 고도화 기술의 빠른 도입과 활용이 가능하다.

나. 오쉬(Osh)시 - 중규모 분산형 고탁도 대응형 모델

- 원수 특성 대응이 핵심 과제: 주요 수원인 Papan 저수지의 우천 시 고탁도 문제로 인해, 막여과(MF) 또는 응집·침전 고도처리 설비 보완이 시급하다.
- 정수장 및 급수 인프라 소규모·노후화: 정수 처리 능력이 부족하고, 피크 수요 대응이 어려운 구조이므로 설비 현대화와 병행한 수요예측형 운영 시스템이 필요하다.
- 수도미터 보급률 저조(약 15%): 사용량 기반 요금 전환을 위해 우선적으로 스마트 수도미터 시범 설치 필요, 요금 현실화 기반 마련이 핵심이다.
- 중앙 통제 및 자동화 시스템 미비: SCADA 부재로 수압, 펌프 효율성, 에너지 소비 등 비효율적 운영 지속 → 간이 통합제어 시스템부터 단계적 도입 필요하다.
- 자원 조달은 국제기구 보조금 기반 선호: 재정 자립도가 낮아 초기 단계에서는 KOICA, ADB 등 ODA 기반 보조금 모델이 적합하다.

다. 소규모 Town - 분산형/기초형 관리모델 + 디지털 격차 해소형 전략

- 기초 인프라 미비 지역 다수 존재: 지하수 기반 공동 우물, 소규모 정수장 등에 의존 → 최소한의 정수 시스템 및 수도관망 확보가 선결 조건이다.
- 운영 인력 및 기술 역량 부족: 유지보수, 누수 감지, 시설 운영 인력이 거의 없어, 지방 공무원 대상 교육훈련 및 표준운영 매뉴얼 구축이 필요하다.
- 재정 기반 매우 취약: 자체 예산만으로는 시설 유지 불가 → 무상ODA 또는 민관협력 기반 소규모 투자 모델(P4P, 성과기반) 유도가 필요하다.
- 디지털 격차 해소를 위한 시범사업 필요: 데이터 수집 장비, 간이 SCADA, 스마트 수도미터 등 최소 단위의 디지털 장비 시범 도입이 필요하다.
- 지역 맞춤형 운영자립 모델 개발 필요: 간이 수질 모니터링, 기계식 누수 탐지, 저비용 클라우드 기반 데이터 전송 체계 등 단순화된 모델로 지역별 맞춤형 구조 설계가 필요하다.

3. 성과 측정 지표 및 모니터링 방안

- 키르기즈공화국 스마트 물관리 로드맵의 성공적인 실행을 위해서는 명확한 성과 측정 지표(Key Performance Indicator; KPI) 설정과 체계적인 모니터링 방안이 필수적이다. 이를 통해 사업의 효과를 정량적으로 평가하고, 필요한 경우 전략을 수정하여 목표 달성 가능성을 높일 수 있다.

가. 스마트 물관리 KPI 설정

〈표 9-4〉 SWMS 성과 측정을 위한 KPI

구분	세부지표	지표설명
운영 효율성 지표	무수율(NRW) 감소율	• 물 손실 저감을 통해 달성된 무수수량(Non-Revenue Water) 감소 비율
	에너지 소비 절감률	• 스마트 펌프 제어 및 최적화 운영을 통해 절감된 에너지 사용량 비율
	운영인력 효율성 개선률	• 자동화·원격화로 인력 배치를 최적화하여 운영 효율성 높은 비율(펌프장 무인 운영 전환, 현장 상주인력 감소율 등)
	유지보수 비용 절감률	• 예측 유지보수 및 자산 관리를 통해 절감된 설비 유지보수 비용 비율
	민원 처리 시간 단축률	• 스마트 고객 관리 시스템 도입 후 민원 접수부터 처리 완료까지 걸리는 시간 단축률
수자원 및 수질 관리 지표	수돗물 수질 기준 준수율	• 스마트 수질 모니터링 및 최적화 시스템 도입 후 수질 기준을 충족하는 비율
	지하수 수위 변동률 안정화	• 지하수 취수 효율화 및 모니터링 강화를 통한 수위 변동 안정화 정도
	수질 오염 사고 발생 빈도 감소	• 실시간 수질 경보 시스템 도입 후 오염 사고 발생 빈도
재정 및 서비스 지표	수도 요금 징수율 향상	• 스마트 수도미터 도입 및 사용량 기반 요금제 전환을 통한 요금 징수율 증가
	수익률 개선	• NRW 저감 및 요금 현실화를 통한 상수도 사업의 수익성 개선 정도
	시민 만족도 향상	• 투명한 정보 공개, 안정적인 물 공급, 신속한 민원 처리 등을 통한 시민 만족도 설문 결과
	스마트 수도미터 보급률	• 전체 수용가 대비 스마트 수도미터 설치 비율

나. 성과 평가 체계

- 성과 평가 체계를 통해 키르기스공화국 스마트 물관리 로드맵은 지속적인 개선과 목표 달성을 위한 기반을 확보할 수 있다. 설정된 KPI의 효과적인 측정을 위한 성과 평가 체계는 다음과 같이 구성된다.

[그림 9-1] 성과 평가 체계



4. 리스크 관리 방안

본 사업은 단계적 도입을 전제로 하고 있으나, 각 단계별로 다양한 잠재적 리스크가 존재하며, 이에 대한 사전 대응 전략이 필요하다. 특히, 사업의 특성상 노후 인프라 개선, 데이터 인프라 구축, 운영인력 역량 강화 등 여러 요소가 상호 연계되기 때문에, 한 영역의 지연 또는 실패가 전체 일정과 성과에 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 리스크를 사전에 식별하고, 발생 가능성과 영향도를 평가한 후 우선순위를 정하여 관리하는 것이 중요하다.

가. 기술적 리스크 관리 방안

- 예상되는 리스크: 장비·시스템 초기 고장, 통신 장애, 데이터 품질 저하 가능성, 관망 개량 및 정수장 스마트화 등의 과업은 단계별 검증 기간과 성과 지연 위험 존재

- 관리 방안: 파일럿 단계에서 충분한 성능 검증, 예비 부품·대체 장비 확보, 데이터 표준화·검증 절차 및 백업 체계 구축, 단계별 검증 기간 확보, 시범사업-확산사업 간 피드백 반영

나. 재정적 리스크 관리 방안

- 예상되는 리스크: 예산 집행 지연, 환율 변동 및 물가 상승에 따른 사업비 초과
- 관리 방안: 단계별 예산 확보 계획 수립, 주요 기자재 사전 계약, 국제개발기금 및 지방정부 예산 매칭 활용

다. 제도·운영 리스크 관리 방안

- 예상되는 리스크: 관련 법규 및 제도 미비, 운영기관 인력 부족, 조직 내 변화 저항
- 관리 방안: 정책 제언 병행 추진, 운영인력 대상 교육·훈련 강화, 시범구역 성공 사례를 통한 내부 수용성 제고

라. 환경·사회적 리스크 관리 방안

- 예상되는 리스크: 공사로 인한 교통 불편 및 민원 발생, 기후 조건 변화(혹한·홍수)로 인한 시공 지연
- 관리 방안: 공사 일정 및 영향 사전 고지, 주민 소통 채널 운영, 계절별 시공 계획 수립 및 비상 대응 절차 마련

스마트 물관리 시스템의 도입은 키르기스공화국의 물 문제에 대한 근본적인 해결책을 제시하며, 지속가능한 수자원 관리와 도시 발전을 위한 핵심 전략이다.

제10장

정책 제언

1. 기술 도입 로드맵 및 정책 방향
2. 중앙정부와 지방정부의 역할 정립
3. 공공-민간 협력 모델 구축

정책 제언

1. 기술 도입 로드맵 및 정책 방향

키르기스공화국 스마트 물관리 로드맵은 총 15년을 기준으로 세 단계로 나뉘어 추진된다.

가. 1단계: 시범 사업 추진(단기, 로드맵 기준 1~3년)

- 핵심 목표
 - 키르기스공화국의 스마트 물관리 시스템 시범 구축 및 운영을 통해 기반을 조성하고 성과를 검증한다. 노후 시설의 현대화, 스마트 운영 기반 구축, 성과보장형 사업 모델의 실증, 그리고 요금 기반 물관리 체계로의 전환을 목표로 한다.
- 주요 과제
 - 주요 시설에 SCADA 기반의 원격감시 및 자동제어 시스템을 도입하고, 스마트 미터링을 시범 도입하여 정액요금제를 사용량 기반 체계로 전환한다. AI 기반의 통합 플랫폼을 구축하여 누수 탐지, 자산 관리, 수질 경보, 에너지 최적화, NRW 관리 등 통합 운영 시스템을 실증하며, 성과보장형 누수 및 에너지 저감 시범사업을 실행한다. 국제기구(EBRD, KOICA 등) ODA 자원 유치 및 민간 참여를 위한 PPP 기본구조 설계를 추진한다.

나. 2단계: 시범 사업 평가, 확대를 위한 제도 정비(중기, 로드맵 기준 4~7년)

- 핵심 목표는 1단계 시범 사업의 성과를 평가하고, 전국 확산을 위한 제도적 기반을 강화하며 민간 참여를 확대하는 것이다.
- 주요 과제는 AMI 기반 스마트 수도미터를 모든 수용가에 단계적으로 확대 설치하고, 정수·송수·배수·가정까지 연결되는 IoT 기반의 전 주기 감시체계를 구축하는 것이다. 성과지표에 따라 민간이 보상받는 Pay-for-Performance 방식 사업을 확대하고, 스마트 수도미터 등 디지털 장비의 성능 시험 및 인증체계를 마련하며, 비슈케크시 성공 모델의 타 지자체 확산을 위한 중앙정부 주도 정책을 수립한다. ICT 기반 스마트 시스템 도입에 필요한 법적 기반을 강화하고 기존 물관리 관련 법률을 개정하며, 운영기관 및 인력의 디지털 전환 역량을 강화한다.

다. 3단계: 전국 확산 및 지속가능성 확보(장기, 로드맵 기준 8~10년)

- 핵심 목표는 국가 상수도 전면 디지털화를 완성하고, 현지 기술 내재화 및 생산 기반을 확보하여 스마트 물관리 체계의 지속가능한 자립 운영을 확립하는 것이다.
- 주요 과제는 전국 모든 상수도 시스템에 SCADA, AMI, IoT, AI 기반 운영 체계를 완전히 도입하여 공급, 수질, 고객, 요금, 설비 등 모든 운영 요소의 통합 관리를 실현하는 것이다. 대한민국 민간 업체와 협력하여 키르기스공화국 내 디지털 장비 생산 공장을 설립하고, 현지 정부의 제도적 지원을 확보하여 유지보수 및 공급망 자립화 기반을 확보한다. 기술 대학 및 직업 훈련기관과 연계하여 스마트 물관리 전문 커리큘럼을 운영하고, 디지털 물 예산 프레임워크를 구축하여 스마트 물관리 성과의 국가 정책화 및 제도 정착을 완결한다.

라. 4단계: 고도화 및 국제 확산(장기, 로드맵 기준 11~15년)

- 핵심목표는 키르기스공화국의 스마트 물관리 체계를 단순한 운영 효율화 수준에서 넘어, 기후변화 적응·탄소중립 달성·국제협력 선도의 차원으로 고도화하는 것이다. 더불어, 축적된 경험과 기술을 바탕으로 중앙아시아 지역 협력 및 글로벌 수출 산업화를 추진하는 것도 포함된다.
- 주요 과제는 스마트 물-에너지-기후 융합 플랫폼 구축, 지역 협력 기반 구축 및 분쟁 완화 모델 정착, 글로벌 수출 산업화 및 현지 기업 육성, 인력 양성 및 학문적 내재화, 스마트 물관리 성과의 국가 정책화 및 글로벌 확산을 포함한다.
 - 스마트 물-에너지-기후 융합 플랫폼 구축 : 기존 SCADA, AMI, IoT, AI 기반 시스템을 확장하여 기후변화 예측 모델과 연계하는 것이다. 가뭄·홍수 등 극한 기후 시나리오에

- 대응할 수 있도록, 스마트 댐 운영 및 수자원-에너지 연계 관리체계를 완성 후 탄소중립 목표 달성을 위해 상수도 운영의 에너지 자립형 스마트 그리드와 연계하는 것을 포함한다.
- 지역 협력 기반 구축 및 분쟁 완화 모델 정착 : 중앙아시아 주변국(카자흐스탄, 우즈베키스탄, 타지키스탄 등)과 공동 데이터 플랫폼 공유를 통해 분쟁 발생 시 AI 기반 데이터 신뢰체계를 활용하여 객관적으로 배분량을 조정하고, 이를 국제협약(예: UN 물협약)과 연계하는 것이 포함될 수 있다.
 - 글로벌 수출 산업화 및 현지 기업 육성 : 3단계에서 설립된 현지 생산 공장을 기반으로, 스마트 수도미터·센서·IoT 장치의 중앙아시아 전역 수출 허브로 발전시킨다. 키르기스 민간기업을 육성하여 PPP(민관협력) 사업 운영사로 성장시키고, 이를 통해 장기적 자립 기반을 마련하여 한국 및 국제 파트너사와 합작으로 ODA-상업 자본 연계 모델을 발전시키고 국제 프로젝트에 진출하는 것을 목표로 한다.
 - 인력 양성 및 학문적 내재화 : 스마트 물관리 전문대학원 과정을 개설하여 석박사급 전문인력을 양성한다. 키르기스공화국 내 대학과 연구기관을 국제 공동연구 허브로 육성하여, AI 기반 수자원 관리·기후변화 적응 연구를 선도하고 디지털 트윈 기반 상수도 교육 프로그램 도입 등으로 차세대 전문가들이 실시간 운영 경험을 축적하는 것을 목표로 한다.
 - 스마트 물관리 성과의 국가 정책화 및 글로벌 확산 : 중앙아시아 지역 협력체(예: CAREC, SCO 등)와 연계하여 키르기스 모델을 표준화하고, 이를 세계은행·ADB·EBRD 등 국제개발은행 프로젝트에 확산하는 것을 목표로 한다.

2. 중앙정부와 지방정부의 역할 정립

- 이러한 로드맵이 실질적인 성과로 이어지기 위해서는 정책·제도적 기반이 명확히 설정되어야 하며, 특히 중앙정부와 지방정부 간의 역할 분담과 상호 협력이 필수적이다. 이를 통해 사업 추진 과정에서의 책임과 권한이 명확해지고, 장기적인 유지·관리 체계가 안정적으로 운영될 수 있다.
- 중앙정부의 역할: 스마트 물관리 도입 관련 법·제도를 정비하고 스마트 수도미터, 데이터 공유, 수도 요금 현실화 등 제도적 기반을 마련하는 역할을 주도적으로 하여야 한다. 또한, 국제개발은행 및 원조기관과의 협력과 국가 예산을 지원하여야 한다. 마지막으로 데이터 표준, 장비 사양, 운영 매뉴얼 국가 표준 제정 등 표준화 체계를 구축하여야 한다.

- 지방정부 및 수도공사의 역할: 각 지역의 특성을 고려한 지역 기반 스마트 물관리 전략을 수립하고, SCADA, AMI, AI 기반의 운영 시스템을 도입하여 설비 자동화, 수요 예측, 고장 예방 등의 스마트 운영체계를 정착시켜야 한다. 예를 들어, 비슈케크시는 대규모 관망 교체·확충, 단계별 DMA 구축, 데이터 통합센터 운영 등의 역할을 하여야 하고, 오쉬(Osh)시는전 구역 통합 DMA 조기 구축, 취약지역 급수망 확충, 민원 대응 강화 등의 역할을 하여야 한다.

- 중앙-지방 간 연계는 사업의 실효성을 높이기 위해 필수적인 요소이다. 우선, 지방정부가 수립한 사업계획은 중앙정부와 공동으로 검토·승인하여 계획의 타당성과 실행 가능성을 확보한다. 또한, 지방정부가 운영 과정에서 수집한 데이터를 중앙정부가 취합·분석하여 국가 차원의 정책 수립과 제도 개선에 반영한다. 아울러, 중앙정부는 재정적 지원과 기술적 자원을 제공함으로써 지방정부의 사업 실행력을 높이고, 현장 집행의 안정성과 효율성을 강화한다.

3. 공공-민간 협력 모델 구축

- 스마트 물관리 전환의 성공은 기술 도입을 넘어 정책, 제도, 재정, 산업, 시민 참여 등 다양한 이해관계자 간의 유기적인 협력과 역할 분담에 달려 있다. PPP(민관협력) 방식은 개발도상국의 재정적 한계를 보완하고 선진 기술을 도입하는 데 필수적인 대안이다.

- 중앙정부의 역할: 스마트 물관리 확산을 위한 국가 차원의 중장기 전략 및 법·제도 체계를 수립하고, 수도 운영기관의 운영성과에 기반한 평가제도를 도입하여 예산 및 기술 지원을 제공한다. 누수 및 에너지 절감을 기반으로 민간이 성과를 실현하고 공공이 이를 보상하는 성과기반 민간참여 사업구조를 제도화하여 지속가능성을 확보해야 한다. 스마트 수도미터, 센서 등의 성능을 검증하고 표준화하는 디지털 장비 성능시험 및 인증센터를 설립하고, 전문 인력 양성을 위한 스마트 물관리 교육센터를 구축하여 물산업 생태계 기반을 조성해야 한다. ADB, KOICA, WB 등 국제기구와의 연계를 통해 ODA 및 PPP 기반 투자 유치를 추진한다.

- 지방정부 및 수도공사의 역할: 각 지역의 특성을 고려한 지역 기반 스마트 물관리 전략을 수립하고, SCADA, AMI, AI 기반의 운영 시스템을 도입하여 설비 자동화, 수요 예측, 고장 예방 등의 스마트 운영체계를 정착시켜야 한다. 지방정부는 스마트 시티 구축 전략에 스마트 물관리 시스템을 통합 요소로 반영하고, 성공한 시범사업 모델을 타 지자체에 전파하며, 수도공사 내에 디지털 기술 전담 부서를 설치하여 운영 역량을 강화해야 한다.

- 민간-공공 협력 모델: 민간의 기술 혁신성과 공공의 제도적 안정성을 결합한 지속가능한 협력구조 구축이 핵심이다. 수도공사와 기술기업이 협력하여 실수요 기반의 기술 개발 및 현장 테스트베드 운영을 추진하고, 절감한 누수량 또는 에너지량에 따라 보상을 받는 성과보장형 계약(PBC) 체계를 운영할 수 있다. 장기적으로는 스마트 장비의 현지 생산 및 조립체계를 구축하고, 기술 이전, 유지보수 매뉴얼 공동 개발, 운영 인력 훈련 등을 포함한 기술 내재화 구조를 확립하며, 수도공사가 공공 테스트베드 및 운영 데이터를 공개하여 민간 기술 기업의 솔루션 실증을 지원해야 한다.
- 시민 및 지역사회 참여 방안: 스마트 수도미터 설치 확대와 함께 사용량 기반 요금제를 도입하고, 시민이 자신의 물 사용량과 절감 효과를 확인할 수 있도록 앱 또는 문자 기반 알림 시스템을 운영해야 한다. 누수 신고, 수질 이상 신고 등 시민 참여형 모니터링 체계를 도입하고, 학교 및 지역 커뮤니티와 연계한 물 절약 교육, 인식 개선 캠페인을 운영하며, 청년층 대상 디지털 물관리 인력 양성을 위한 기술학교 및 직업 훈련기관과의 협력을 추진하여 지역 일자리 창출과 연결해야 한다.
- 종합적으로 볼 때, 키르기스공화국의 스마트 물관리 로드맵은 기술 도입뿐만 아니라 법·제도 개선, 자원 조달, 그리고 다양한 이해관계자 간의 유기적인 협력을 통해 실현가능한 지속 가능한 물관리 체계를 구축하는 것을 목표로 한다.

제11장

결론

1. 키르기스공화국의 물관리 개선의 필요성
2. 스마트 물관리 도입 기대 효과
3. 지하수 활용에 따른 문제점 및 개선 방안

결론

1. 키르기스공화국의 물관리 개선의 필요성

- 키르기스공화국의 물 관리는 기후변화, 인구 증가, 노후화된 인프라, 비효율적인 운영 체계 등 복합적인 도전 과제에 직면해 있다.
- 수도 비슈케크시는 다음의 문제들을 안고 있다:
 - 100% 지하수 의존으로 취약한 단일 수원 구조를 가지고 있다.
 - 생산 시설이 100% 가동 중이어서 늘어나는 수요를 감당하기 어렵다.
 - 염소 소독 외 별도의 고도처리가 없어 수질 오염 사고에 취약하다.
 - 대부분의 가정이 수도미터를 보유하고 있지 않아 정량 기반 요금 체계 운영이 불가능하며, 이는 무수수량(NRW) 관리의 어려움과 물 낭비를 유도하는 구조를 고착화시킨다.
 - 노후화된 시설과 낮은 자동화 수준으로 인해 운영 효율성이 저하되고 에너지 소비가 높습니다.
 - 지하수 수위 및 수질에 대한 실시간 모니터링 시스템이 부재하다.
 - 생산원가(\$0.16(14숨)/m³)보다 낮은 수도요금(\$0.11(10숨)/m³)으로 인해 재정적 비효율성이 심각하다.
- 제2의 도시 오쉬(Osh)는 다음과 같은 주요 문제를 겪고 있다.

- 빙하수 기반의 풍부한 수량을 보유하고 있음에도 우천 시 고탁도 발생으로 인한 수돗물 생산 차질이 빈번하다.
- 수도미터 보급률이 저조하여 NRW 관리가 부재하며, 이는 물 낭비를 유도한다.
- SCADA 시스템 미도입으로 데이터 기반 운영이 미흡하다.
- 고비용 에너지 소비 문제를 안고 있다.
- 이러한 문제들은 단순한 설비 개보수를 넘어, 실시간 데이터 수집·분석·활용 기반의 스마트 물관리 시스템 도입을 필수적으로 만든다.

2. 스마트 물관리 도입 기대 효과

- 스마트 물관리는 물 공급 전 과정에 디지털 기술과 자동화 시스템을 통합하여 운영 효율성, 수질 안정성, 에너지 절감, 자산 수명 연장, 위기 대응력을 동시에 향상시키는 혁신적인 물관리 전략이다. 키르기스공화국에 스마트 물관리를 도입함으로써 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다:
 - NRW 감축 및 재정 안정화: 스마트 수도미터와 누수 감지 시스템을 통해 물 손실을 줄이고 요금 징수 기반을 강화하여 상수도 운영기관의 재정 건전성을 회복할 수 있다. 연간 약 1,405만 톤의 수자원을 추가 확보할 수 있으며, 이 중 일부를 신규 수요자에게 공급하여 추가 수익을 창출할 수 있다.
 - 수자원 보전 및 기후변화 대응: 스마트 모니터링 시스템은 지하수 수위, 수질 변화에 대한 조기 경보 체계를 구축하여 과잉 취수나 수질 악화에 신속히 대응할 수 있다.
 - 운영 효율성과 에너지 절감: SCADA 시스템과 펌프 효율 분석 시스템을 결합하여 시간대별 최적 운전, 에너지 부하 분산, 정점 요금 회피 전략을 통해 운영 에너지 비용을 절감할 수 있다. 비슈케크시는 연간 총 843만 kWh의 에너지 절감과 126만 달러의 전력비 절감 효과를 기대할 수 있다. 또한, 펌프장 무인 운영이 가능해져 인력 운영 효율성도 향상된다.
 - 위기 대응 능력 및 시민 신뢰 제고: 데이터 기반 운영은 누수, 오염, 압력 이상 등 비상상황에 대한 빠른 대응을 가능하게 하며 서비스의 안정성을 확보한다. 투명하고 신뢰할 수 있는 수돗물 서비스 제공으로 시민 만족도 향상에도 기여한다.

- 환경적 편익: 에너지 절감과 누수 저감을 통해 연간 3,794톤의 탄소 배출을 저감할 수 있어 탄소중립에 기여하고 탄소배출권 판매 수익도 창출할 수 있다.

3. 지하수 활용에 따른 문제점 및 개선 방안

지하수 활용은 수위 저하·지반침하·염수침투·오염 문제를 초래하며, 이를 해결하기 위해서는 허가·계량 관리 강화, 공공 수자원 확충, 유역 단위 통합관리, 비용 분담체계 구축이 필수적이다(문현주, 2007; 김경호, 2016; 환경부, 2024).

가. 문제점

1) 환경적 문제

- 무분별한 지하수 개발은 지하수위를 급격히 낮추고, 심할 경우 지하수 고갈을 초래할 수 있다. 이는 주변 생태계에 악영향을 미치고, 장기적으로는 식수난을 야기할 수 있다. 특히 지역적인 가용 가능한 지하수량에 비해 무분별한 채취는 지하수 장애 문제로 나타나며, 수위 저하 및 고갈에 따른 수자원 이용에 장애를 유발할 수 있다.
- 지하수위 하강은 지반의 공극률을 변화시켜 지반침하를 유발할 수 있다. 이는 건물 손상, 도로 균열 등 안전 문제를 초래하며, 대규모 지하수 개발 지역에서 지반침하 우려가 높다.
- 사적인 지하수 관정은 관리 부실로 인해 생활 오수, 축산 폐수, 농업용 비료 및 농약 등이 유입되어 지하수 오염의 원인이 될 수 있다. 대도시에서는 공장폐수나 생활하수, 농촌에서는 생활하수, 축산폐수, 야적된 생활쓰레기가 주요 오염원이며, 골프장에 뿌려지는 비료·농약 또한 심각한 지하수 오염의 문제가 된다. 또한, 무분별한 지하수 개발과 폐공의 처리 미흡으로 인해 지하수 오염이 발생하는 경우가 많다.
- 해안 지역에서는 지하수 과다 채수로 인해 해수가 지하수층으로 유입되는 해수 침투 현상이 발생할 수 있다. 이는 지하수의 염분 농도를 높여 농업 용수나 식수로 사용하기 어렵게 한다.

2) 사회적 문제

- 특정 지역의 과도한 지하수 채수는 주변 지역의 지하수 부족을 야기하여 주민 간의 갈등과 분쟁을 초래할 수 있다.
- 사적인 지하수 개발은 국가나 지자체의 통합적인 수자원 관리를 어렵게 한다. 정확히

지하수 사용량 파악이 어렵고, 이에 따른 효율적인 수자원 배분 및 관리가 제한된다. 무분별한 지하수 이용과 폐공 관리 부재가 지하수 수질 악화의 중요한 요인이 되고 있다.

3) 경제적 문제

- 무분별한 지하수 개발은 초기 투자 비용 외에도 지속적인 유지보수 비용과 전력 소비 비용을 발생시킨다.
- 지하수 고갈은 농업 생산성 저하, 공업 용수 부족 등으로 이어져 지역 경제에 막대한 손실을 입힐 수 있다.

나. 개선 방안

- 지하수가 주된 수원으로 활용되는 비슈케크시의 경우, 지속 가능성을 위해서 지하수 함양을 위해서 다각적인 접근이 필요하다.

1) 정책 및 제도 개선

- 지하수 개발 및 이용에 대한 허가 절차를 강화하고, 사용량에 대한 정기적인 모니터링을 의무화해야 한다. 일정 규모 이상의 지하수 개발에는 엄격한 영향평가를 실시하고, 영향평가 결과를 지하수 보전·관리의 도구로 활용해야 한다.
- 지하수 이용에 대한 부담금을 현실화하여 지하수 사용량 절감을 유도하고, 징수된 부담금은 지하수 보전 및 관리에 재투자해야 한다.
- 미신고 불법 관정에 대한 단속을 강화하고, 적발 시 강력한 제재를 가하여 무분별한 지하수 개발을 억제해야 한다. 미등록 지하수 시설 전수조사 및 사용 종료 시설 원상 복구 추진이 필요하다.
- 지하수위, 수질 등 지하수 관련 정보를 투명하게 공개하고, 지역 주민 및 관련 기관 간 정보 공유를 활성화하여 합리적인 지하수 이용을 도모해야 한다.
- 지하수와 지표수 및 토양을 연계하여 통합 관리하는 정책을 검토해야 하며, 다원화된 조직 및 업무의 통합보다는 개별 부문 및 지역 단위의 계획을 종합적으로 관리·조정하는 제도적 틀이 필요하다.
- 지하수 업무를 총괄할 수 있는 전담조직 설치 및 전문 인력 육성이 필요하다.

- 소규모, 분산, 개별적 개발·이용 방식을 체계적, 집단적, 공공 개발·이용 방식으로 전환하여 개발·이용의 효율성을 높이고 취수 관리를 용이하게 해야 한다.

2) 기술적 개선

- 빗물 침투 시설, 인공 함양정 등을 통해 지하수 함양을 증대시키는 기술을 개발하고 보급하여 지하수위 회복에 기여해야 한다.
- 지하수위, 수질 등을 실시간으로 측정하고 분석할 수 있는 첨단 모니터링 시스템을 구축하여 지하수 변화에 대한 예측 및 대응 능력 강화가 필요하다. 빅데이터·AI 등 첨단 기술을 적용하여 정보 분석을 고도화하는 체계 및 대국민 서비스 확대가 필요하다. 지하수위와 수질을 실시간으로 측정·분석할 수 있는 첨단 모니터링 시스템을 구축하여 지하수 변화에 대한 예측 및 대응 능력을 강화해야 한다. 또한 빅데이터와 AI 등 첨단 기술을 적용해 정보 분석을 고도화하고, 대국민 서비스 제공 범위를 확대하는 노력이 뒤따라야 한다
- 지하수 오염원 관리를 위한 기술(예: 오염물질 차단막, 정화 시스템 등)을 개발하고 보급하여 수질 악화를 사전에 예방해야 한다. 특히 오염유발시설 지정 확대 및 현장 점검 강화를 병행하는 것이 요구된다.
- 농업 용수 절약을 위해 절수형 스프링클러와 점적 관수 시스템을 보급하고, 생활 용수 절약을 위해 절수형 수도꼭지 사용을 적극 권장해야 한다.
- 지하 공사 과정에서 유출되는 지하수를 화장실 세정용수, 청소용수, 하천 유지용수, 친수 공간 조경용수 등으로 재활용할 수 있는 방안을 적극 모색해야 한다.

3) 교육 및 인식 개선

- 지하수가 유한한 자원이라는 점과 무분별한 사용이 환경과 사회에 미치는 부정적 영향을 알리기 위해 지속적인 교육과 홍보를 추진하여 주민들의 인식을 개선할 필요가 있다.
- 지하수 대신 빗물이나 하수처리수 재활용 등 대체 수자원의 활용을 적극 장려하고, 이를 뒷받침할 지원 방안을 마련해야 한다.
- 지하수 관리 정책 수립 및 이행 과정에 지역 주민들의 참여를 확대하여 정책의 투명성과 책임성을 높여야 한다.

참고문헌

<국문>

- 강명구, '세계은행그룹과 국제도시개발협력', 2015, World & city, 서울솔루션, 제4권, pp.38-43
- 강문수, '민관협력(PPP, Public Private Partnership) 활성화를 위한 법제개선연구', 2011, 한국법제연구원.
- 관계기관합동, '수출금융 종합지원 방안: 공공부문과 민간금융회사 협업모델 적극 추진', 2023.
- 관계부처 합동, '제1차 국가물관리 기본계획[2021 - 2030](변경)', 2023.
- 관계부처 합동, '한국판 뉴딜 종합계획', 2020.
- 국립기상과학원, '한반도100년의 기후변화'. 2018.
- 김경호, '지하수 개발사업의 환경영향평가 개선을 위한 기초연구', 2016, 한국환경연구원(KEI).
- 김성태, 임병인, 오현택, 박규홍, '스마트 하수도 구축의 경제적 파급효과 분석', 2019, 융합정보논문지, 9(7), pp.78-89.
- 김형주, 염성찬, 이민아, 노원진, '국내외 기후금융·산업의 현황, 주요사례 및 시사점', 2017, 국회에 잔정책처.
- 대한무역진흥공사(KOTRA), '중양아시아 역내 갈등 해소와 경제협력의 추진 방향', 2025
- 대한무역진흥공사(KOTRA), '해외 주요국 및 투자인센티브 현황 사례조사', 2013.
- 류문현, 김상문, 최효연, 김호영, 박지혜, 조은채, 배대현, '물산업 실태분석을 통한 국내 물산업 진흥 추진전략 마련 연구', 2020. 한국수자원공사
- 마켓 리서치 인텔리전스, '스마트 워터 펌프 지리적 경쟁 환경 및 예측 별 애플리케이션 별 제품 별 시장 규모', 2025.
- 문현주, '지하수자원의 합리적 이용·관리를 위한 정책방향', 2007, 한국환경연구원(KEI).
- 민경진, 김동환, 조은채, '물산업 해외진출 활성화방안 연구', 2011, 한국수자원학회 학술대회논문집, 한국수자원학회.
- 박재명, '대전시, AI 활용한 '스마트 물관리'... 누수 잡고 수해 막는다', 2023, 동아일보.
- 백종구, '한국수자원공사-EBRD, 우크라이나 재건 금융 협력 맞손', 2023, 세계환경신문.
- 부산광역시 물산업협회, '스마트 물관리 시스템이란?', 2024.
- 서성아, '사회적 비용평가 비교조사', 2017, 한국행정연구원.
- 시투시퍼(C2CP), 'ADB(아시아개발은행): 아시아 지역개발의 핵심기구와 한국의 전략적 활용 방안', 2025.
- 신흥지역정보 종합지식포털(EMERiCs) 러시아 | , '키르기스공화국, 물 부족 심화... 관개용수 제한 조치 시행', 2022, 대외경제정책연구원(KIEP)
- 신흥지역정보 종합지식포털(EMERiCs) 러시아 | , '키르기스공화국, 소규모 수력발전소 건설 계획 발

- 표', 2024, 대외경제정책연구원(KIEP)
- 신흥지역정보 종합지식포탈(EMERICs) 러시아 |, '중앙아시아, 기후변화로 인한 수자원 위기 심화', 2025, 대외경제정책연구원(KIEP)
- 안중호, 한대호, 양일주, 이문환, 전동진, 송창근, '통합물관리를 위한 디지털-그린 뉴딜정책의 추진방안 연구 연구보고서, 2021, 한국환경연구원.
- 위터저널, '[우수사례] '물관리 우수사례 및 우수기술 실용화 발표대회' 최우수상 사례 소개', 2023.
- 위터저널, '[해외사례] 누수 사전 감지를 통한 이점', 2022.
- 위터저널, '[해외시장보고서]"글로벌 스마트 물관리 시장 규모, 2034년까지 617억 달러로 증가 예상"', 2025.
- 위터저널, '2024년 물산업 해외진출 전략(상)', 2024, 위터저널, 4월호.
- 위터저널, '물기업 협력적 해외진출 촉진방안', 2016, 12월호.
- 위터저널, '제31회 2019년 하반기 물종합기술연찬회 특별강연-산업의 현재와 진흥전략', 2019, 위터저널, 10월호.
- 위터저널, '해외 물 프로젝트 수출금융 지원제도 및 사례', 2013, 위터저널.
- 이남수, 김상렬, 이국수, 배대현, '지속가능한 물관리 전략 수립을 위한 국제공동연구: 한국의 물 이용 효율성 제고', 2017, 한국수자원공사 융합연구원 물정책연구소.
- 이승훈, '중남미 인프라 시장 진출을 위한 효과적인 금융조달 방안', 2021, 라틴 인터스트리 NOW, 2, 외교부 라틴아메리카 협력센터.
- 이유정, '지속가능한 스마트 도시 및 인프라 구축을 위한 스마트 물 관리 체계 평가(파주 중심으로)', 2021, 고려대학교 박사학위논문.
- 이충진, 정인선, 조라훈, 김석준, 전영광, 박선용, 김민준, 오광철, 양제복, 장기창 & 김대현. , 'Part 1. 북강릉 지역의 스마트팜 온실 내 지열히트펌프 이용에 따른 비용절감효과에 관한 연구', 2019, 신재생에너지, 15(1), 1-8.
- 임정일, 김용우, 김형준, 손승원, '스마트 워터 그리드 기술개발 및 표준화 동향', 2014, 전자통신동향 분석, 4, 87-96.
- 임혜연, 최막중. '한국은 어떻게 상수도 공급문제를 해결했는가?', 2015, 국토계획. 50(4), 259-271.
- 정창구, 정종현, 염동호, 김효은, 전용철, 김지수, '해외 PPP사업 확대를 위한 한국형 금융모델 개발 연구', 2016, 국토교통부 해외건설정책지원센터.
- 진대용, 표종철, 조윤람, '물관리 디지털 전환을 위한 인공지능 융복합연구동향 분석', 한국환경연구원, 2022.
- 최수호, "물 갈등' 키르گی스·우즈베크 국경 조정 합의...시민들 반발', 2022, 연합뉴스

최행좌, '30년을 맞이한 K-water의 해외사업, 글로벌 물복지를 실현합니다', 2023, K-water 리포트, Vol. 661, 한국수자원공사.

한국개발연구원(KDI), '2022/2023 키르기스 KSP 착수보고회의 및 실태조사 결과보고서', 2023.

한국국제협력단(KOICA), 개발도상국 내 한국의 물 분야 민간협력(PPP) 구축에 관ss한 기초 연구. 2011.

한국무역협회(KITA), '수출입은행, 카타르 에틸렌 플랜트 사업에 10억달러 금융 지원', 2023.

한국수자원공사(K-water), '광역상수도 스마트관리체계 구축사업 실명제 사업내역서'. 2022.

한국수자원공사(K-water), '스마트 관망관리 솔루션(SWNM)', 2025(c).

한국수자원공사(K-water), '스마트워터그리드 사업성 평가 및 제도개선 방안연구:SWG 관련 법체제 정비 방안수립 연구', 2015.

한국수자원공사(K-water), '아시아 개발도상국 물시장 진출을 위한 SWG 기술의 사업화 연계방안 연구(3차년)', 2019.

한국수자원공사(K-water), '해외사업현황', 2025(b).

한국수자원공사(K-water), 'K-water 2024 지속가능경영보고서', 2025(a).

한국수자원공사(K-water), '키르기스공화국과 재생에너지 및 탄소저감사업 확대 합의', 2024.

한혜진, 김종성, '사물인터넷(IoT)을 활용한 스마트 물환경관리 방안 및 정책기반 마련 연구', 2016, 한국환경연구원.

한-중앙아시아협력포럼사무국, '키르기스공화국 관개시설 현대화 사업 적극 추진', 2023, 한국국제 교류재단(KF).

환경부, '제1차 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획('19~'22)', 2019.

환경부, '제2차 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획('24~'28)', 2024.

환경부, '제4차 지하수관리기본계획 변경(200-22031)', 2024.

환경부, 2024년 환경부 국제개발협력사업(ODA) 자체평가 종합분석보고서, 2024.

환경산업기술원. 스마트 워터 그리드(SWG) 및 인공지능 기반 물관리 기술동향, 2020. 환경부.

<영문>

Asian Development Bank(ADB), 2008, 'Public-Private Partnership Handbook'.

Asian Development Bank(ADB), 2025(a), 'Program Agreement for Loan 4494-KGZ and Grant 0971-KGZ: Additional Financing for Naryn Rural Water Supply and Sanitation Development Program'.

Asian Development Bank(ADB), 2025(b), 'Water Financing Partnership Facility Annual

Report 2024’.

Asian Development Bank(ADB), 2025(c), ‘Water Resilience Trust Fund under the Water Financing Partnership Facility’.

Asian Development Bank(ADB), 2025(d) ‘Asian Development Fund(ADF)’

Asian Development Bank(ADB), 2025(e) ‘Water Financing Partnership Facility’.

Climate Bonds Initiative(CBI), 2018, ‘Bonds and Climate Change: The State of the Market 2018’.

European Bank for Reconstruction and Development(EBRD), 2019, ‘Environmental and Social Policy 2019’.

European Bank for Reconstruction and Development(EBRD), 2025(a), ‘EBRD 2025 Annual Meeting and Business Forum’.

European Bank for Reconstruction and Development(EBRD), 2025(b), ‘Talas Water and Wastewater Sub-Project Extension’.

European Bank for Reconstruction and Development(EBRD), 2025(c) ‘Water Sector Strategy’.

Fastercapital, 2025, ‘Cost Benefit Analysis: A Simple Method for Evaluating Your Projects and Decisions’.

Global Environment Facility(GEF), 2025, ‘GEF Focal Area Strategies: International Waters’.

Global Impact Investing Network(GIIN), 2025, ‘Annual Impact Investor Survey 2025’.

Global Partnership for Results-Based Approaches(GPRBA), 2025, ‘Results in Water Supply and Sanitation’.

International Capital Market Association(ICMA), 2025, ‘Green Bond Principles 2025’.

International Finance Corporation(IFC), 2025, ‘Water & Wastewater PPPs: Lessons from IFC Engagements’.

International Monetary Fund(IMF), 2024, ‘Capacity Development Annual Report 2024’.

Kim., J. W., 2002, ‘Agriculture in the Kyrgyz Republic’, Korean National Committee on Irrigation and DrainageJournal, 9(2). pp. 130-139.

Organisation for Economic Co-operation and Development(OECD), 2025, ‘Blended Finance Principles for Sustainable Development’.

PPWSA, HOMEPAGE_PRODUCTION&SUPPLY-NON-REVENUE WATER(www.ppwsa.com).

kh/en/)

UNICEF, 2025, 'Millions of people risk being cut off from safe water as hostilities escalate in Eastern Ukraine'.

United Nations Development Programme(UNDP), 2025(a), 'Water and Sanitation for All: A Strategy for Sustainable Development'.

United Nations Development Programme(UNDP), 2025(b), 'SDG Impact Standards'.

United Nations International Children's Emergency Fund(UNICEF), 2024, 'Water, Sanitation and Hygiene(WASH) 2024 Annual Report'.

WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme(JMP), 2019, 'Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017'.

World Bank, 2008, 'Loan Agreement(Water Supply and Sanitation Project) between REPUBLIC OF BELARUS and INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT'.

World Bank, 2024, 'Bishkek water supply and sanitation project: Environmental and social management framework(Report No. P170030).'

World Bank, 2024, 'Financing Agreement(Kenya Water, Sanitation and Hygiene Program) between REPUBLIC OF KENYA and INTERNATIONAL DEVELOPMENT ASSOCIATION'.

World Bank Group Korea Office, 2024, '2023 Fiscal Year Delayed Report'.

World Bank Group, 2025(a), ' New World Bank Program to Improve Water Supply and Quality and Advance Water Sector Reforms'.

World Bank Group, 2025(b), 'Water Security Financing Report 2024'.

World Bank Group, 2025(c), 'IDA at a Glance'.

World Bank Group, 2025(c), 'Results-Based Financing for Water and Sanitation'.

World Bank Group, 2025(d), 'Water Sector Policy and Investment Frameworks'.

기획재정부

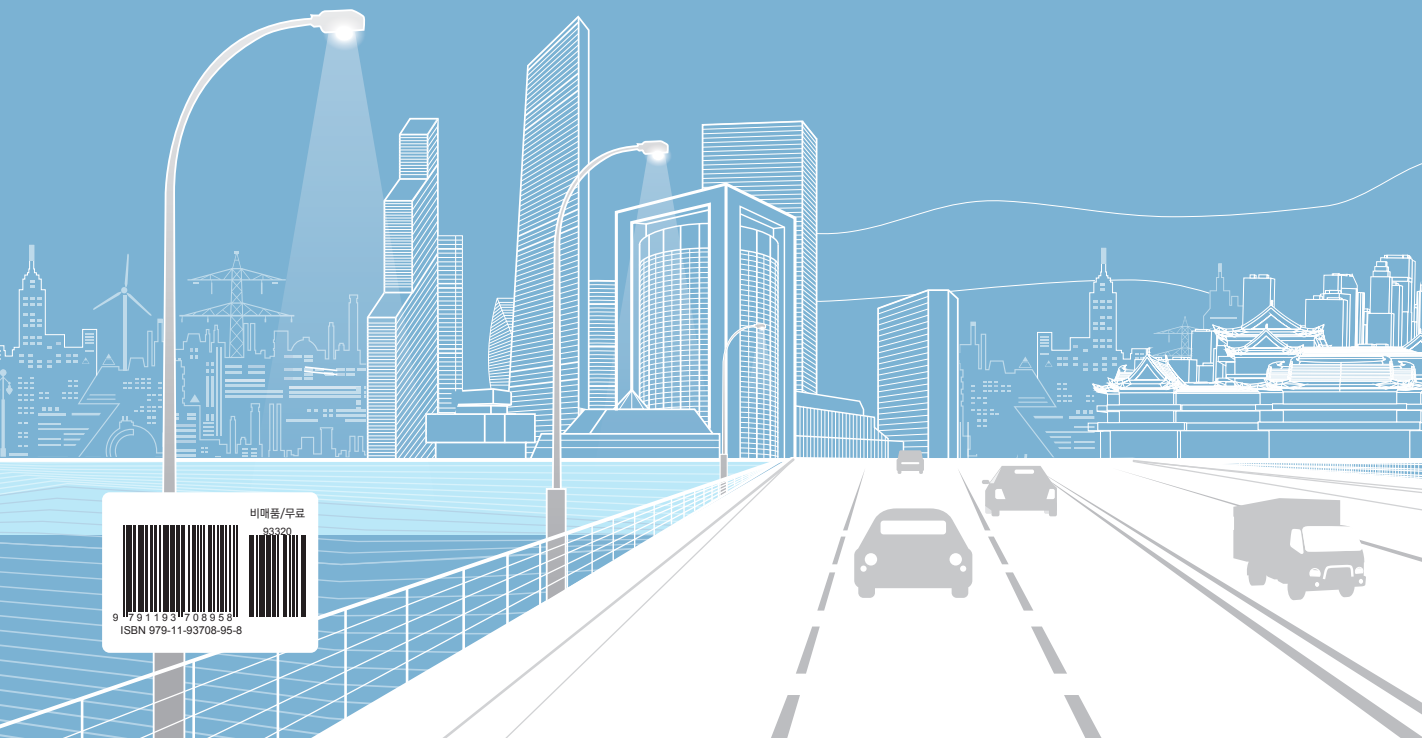
30109, 세종특별자치시 갈매로 477 정부세종청사
Tel. 044-215-7747 www.moef.go.kr

한국수출입은행

07242, 서울특별시 영등포구 은행로 38
Tel. 02-3779-6114 www.koreaexim.go.kr

경제발전경험공유사업(KSP)

www.ksp.go.kr



비매품/무료



ISBN 979-11-93708-95-8