

제주연구원 제주지하수연구센터 **AI** 자동화 계획서

1. 센터 현황 분석

주요 업무

- 제주 지하수 자원 조사 및 평가
- 지하수 수질 모니터링 및 관리
- 지하수 보전 정책 연구 및 지원
- 지하수 이용현황 조사 및 분석
- 지하수 오염 예방 및 정화 연구
- 용천수 및 해중 지하수 연구
- 기후변화가 지하수에 미치는 영향 분석
- 지하수 관련 국제 협력 및 교류
- 제주 물 문화·역사 자료 보존 관리
- 지하수 정책 수립 지원 및 자문

직원별 현재 업무 및 자동화 대상

센터장 (1명) 현재 업무: 센터 총괄, 연구 기획, 대외 협력, 정책 자문 자동화 대상:

- 지하수 현황 종합 대시보드 실시간 모니터링
- 연구과제 우선순위 자동 평가 및 추천
- 정책 의사결정 지원을 위한 데이터 분석 리포트
- 국제 동향 분석 및 벤치마킹 자료 자동 수집

지하수조사팀장 (1명) + 지하수조사팀원 (3명) 현재 업무: 현장 지하수 조사, 시료 채취, 수량·수질 분석 자동화 대상:

- 지하수위 및 수질 실시간 자동 모니터링
- 현장 조사 경로 최적화 및 일정 자동 생성
- 시료 분석 결과 자동 해석 및 이상 감지
- 지하수 오염원 자동 추적 및 영향 평가

수질분석팀장 (1명) + 수질분석팀원 (2명) 현재 업무: 지하수 수질 분석, 오염도 평가, 정화 방안 연구 자동화 대상:

- 실시간 수질 자동 분석 및 등급 판정
- 오염물질 패턴 분석 및 오염원 예측
- 수질 정화 효과 시뮬레이션 및 최적 방안 도출
- 수질 기준 초과 시 자동 경보 및 대응 계획

정책연구팀장 (1명) + 정책연구팀원 (2명) 현재 업무: 지하수 정책 연구, 제도 개선 방안, 관리 계획 수립 자동화 대상:

- 정책 효과 예측 모델링 및 시나리오 분석
- 국내외 지하수 정책 동향 자동 분석 및 비교
- 이해관계자 의견 자동 수집 및 분석
- 정책 보고서 초안 자동 생성

해충지하수연구팀장 (1명) + 해충지하수연구팀원 (2명) 현재 업무: 해충 지하수 탐사, 해수 침투 연구, 연안 지하수 관리 자동화 대상:

- 해충 지하수 유출량 자동 측정 및 분석
- 해수 침투 패턴 예측 및 위험지역 평가
- 연안 지하수 수질 변화 실시간 모니터링
- 해충 탐사 장비 자동 운영 및 데이터 수집

2. AI 자동화 대상 업무별 계획

A. 지능형 지하수 통합 모니터링 시스템

현재 문제점

- 지하수조사팀 3명이 도내 1,500여개 관정 중 200개소만 월 1회 현장 조사
- 수동 채수 및 분석으로 실시간 수질 변화 파악 어려움
- 지하수위 변화 조기 감지 시스템 부재
- 광범위한 조사 지역으로 인한 인력 부족 및 효율성 저하

AI 자동화 방안

DeepSeek R1 활용:

- IoT 센서 기반 실시간 지하수위, 수질, 수온 자동 모니터링
- 위성 이미지 분석을 통한 지하수 함양 지역 변화 감지
- 지하수 오염 패턴 자동 분석 및 오염원 추적
- 계절별 지하수 변화 예측 및 이상 징후 조기 감지

Qwen3 Fine-tuning:

- 제주도 화산암 대수층 특성 반영한 지하수 거동 모델링
- 용천수 특성 및 해충 지하수 유출 패턴 학습
- 기후변화가 제주 지하수에 미치는 영향 예측
- 관광 개발과 지하수 이용량 변화 상관관계 분석

구현 절차

1. 스마트 모니터링 네트워크 구축 (6개월)

- 1개월차: 모니터링 지점 선정 및 설계

- 주요 관정 100개소 우선 선정 (지역별, 용도별 대표성 고려)
 - 지하수위, 수질(pH, EC, DO, 질산성질소 등) 실시간 센서 설치 계획
 - 용천수 지역 10개소 특별 모니터링 지점 설정
 - 해중 지하수 유출 지역 5개소 해저 센서 설치 계획
 - 2개월차: IoT 센서 및 통신망 구축
 - 실시간 지하수위 센서 및 자동 채수 시스템 설치
 - 멀티파라미터 수질 센서 (pH, EC, DO, 탁도, 온도) 도입
 - LoRa/5G 기반 무선 통신 네트워크 구축
 - 태양광 발전 시스템으로 지속적 전원 공급
 - 3개월차: 위성 및 드론 모니터링 시스템
 - 위성 이미지 분석을 통한 지표 변화 모니터링
 - 드론 기반 광역 지하수 조사 시스템 구축
 - 열화상 카메라를 이용한 용천수 탐지 시스템
 - 지하수 함양 지역 식생 변화 자동 감지
 - 4개월차: 데이터 통합 플랫폼 구축
 - 다종 센서 데이터 실시간 수집 및 저장 시스템
 - 기상청 강수량 데이터 연동 및 상관관계 분석
 - 데이터 품질 검증 및 이상 데이터 필터링
 - 장기 데이터 저장 및 백업 시스템
 - 5-6개월차: AI 분석 모델 개발 및 통합
 - 실시간 이상 감지 및 예측 모델 개발
 - 지하수위 변화 예측 알고리즘 구축
 - 통합 대시보드 및 모바일 앱 개발
 - 자동 보고서 생성 시스템
2. 지하수 수질 자동 분석 시스템 (4개월)
- 1개월차: 수질 분석 자동화 설계
 - 자동 채수 및 전처리 시스템 도입
 - 실시간 수질 분석 장비 (IC, ICP-MS, GC-MS) 연동
 - 분석 결과 자동 해석 알고리즘 개발
 - 수질 등급 자동 판정 시스템
 - 2개월차: 오염원 추적 시스템 개발
 - 동위원소 분석 기반 지하수 기원 추적
 - 오염물질 확산 경로 시뮬레이션
 - 농업, 축산, 생활오수 등 오염원별 특성 학습
 - 오염도 예측 모델 및 조기 경보 시스템
 - 3개월차: 수질 관리 최적화 시스템
 - 정화 방법별 효과 예측 모델링
 - 비용 대비 정화 효율 분석 알고리즘
 - 수질 개선 우선순위 자동 설정
 - 정화 사업 성과 평가 시스템

○ **4개월차: 통합 수질 관리 플랫폼**

- 실시간 수질 현황 대시보드
- 수질 기준 초과 시 자동 알림 시스템
- 지역별 수질 트렌드 분석 및 예측
- 시민 대상 수질 정보 공개 시스템

직원별 업무 변화

지하수조사팀장:

- 기존: 현장 조사 계획 수립 및 현장 관리 (주 35시간)
- 변화: AI 모니터링 결과 검토 및 정밀 조사 계획 (주 25시간)

지하수조사팀원 3명:

- 기존: 현장 채수 및 간이 측정 (1명당 주 30시간)
- 변화: AI 지원 정밀 조사 및 이상 지역 집중 관리 (1명당 주 22시간)

기대효과

- 지하수 모니터링 효율성 **80%** 향상
- 24시간 실시간 감시로 오염 조기 발견
- 데이터 기반 과학적 지하수 관리 체계 구축
- 지하수 보전 정책 수립의 정확성 및 신뢰성 향상

B. 스마트 해중 지하수 연구 시스템

현재 문제점

- 해중지하수연구팀 2명이 분기별 해중 탐사로 연속 모니터링 한계
- 해중 환경의 특수성으로 인한 조사 장비 운영 어려움
- 해수 침투 패턴 변화의 실시간 파악 불가
- 기후변화에 따른 해수면 상승 영향 예측 부족

AI 자동화 방안

DeepSeek R1 활용:

- 수중 로봇 및 자율 잠수정을 이용한 해중 지하수 자동 탐사
- 해수 침투 시뮬레이션 및 취약 지역 예측
- 조석 및 기상 조건과 해중 지하수 유출량 상관관계 분석
- 연안 지하수 염도 변화 실시간 모니터링 및 예측

Qwen3 Fine-tuning:

- 제주 연안 지형 특성 반영한 해수 침투 모델
- 태풍 및 해일이 지하수에 미치는 영향 학습
- 연안 개발 사업과 지하수 변화 상관관계 분석
- 해중 용천수 분포 패턴 및 특성 학습

구현 절차

1. 해중 모니터링 시스템 구축 (5개월)

- 1개월차: 해중 탐사 장비 도입 및 설계
 - 자율 수중 로봇 (AUV) 3대 도입 및 개조
 - 해저 고정식 모니터링 스테이션 10개소 설치 계획
 - 실시간 염도, 온도, 유량 측정 센서 개발
 - 해중 통신 시스템 (음향 통신) 구축
- 2-3개월차: 해중 센서 네트워크 구축
 - 해저 센서 설치 및 위치 측정 시스템
 - 실시간 데이터 전송을 위한 부이 시스템
 - 해상 기상 관측소와 연동 시스템
 - 조석 데이터 실시간 수집 및 분석
- 4개월차: AI 분석 모델 개발
 - 해중 지하수 유출량 예측 모델
 - 해수 침투 위험도 평가 알고리즘
 - 연안 지하수 수질 변화 예측 시스템
 - 기후변화 시나리오별 영향 평가 모델
- 5개월차: 통합 관리 시스템 완성
 - 해중 지하수 종합 관리 플랫폼
 - 실시간 알림 및 경보 시스템
 - 장기 변화 트렌드 분석 및 예측
 - 연구 데이터 자동 분석 및 보고서 생성

직원별 업무 변화

해중지하수연구팀장:

- 기존: 해중 탐사 계획 및 현장 조사 (주 32시간)
- 변화: AI 분석 결과 해석 및 연구 기획 (주 24시간)

해중지하수연구팀원 2명:

- 기존: 해중 장비 운영 및 시료 분석 (1명당 주 35시간)
- 변화: AI 지원 정밀 연구 및 모델 검증 (1명당 주 26시간)

기대효과

- 해중 지하수 모니터링 연속성 확보
- 해수 침투 조기 경보 시스템 구축
- 연안 지하수 관리 정책 과학화
- 국제 수준의 해중 지하수 연구 역량 확보

C. 지능형 지하수 정책 지원 시스템

현재 문제점

- 정책연구팀 2명이 다양한 정책 연구 과제로 업무 과중
- 정책 효과 예측 및 평가의 정량화 어려움
- 이해관계자 의견 수렴 과정의 비효율성
- 국내외 정책 동향 분석 및 벤치마킹 한계

AI 자동화 방안

DeepSeek R1 활용:

- 정책 시나리오별 영향 예측 시뮬레이션
- 빅데이터 기반 정책 효과 분석 및 평가
- 자연어 처리를 통한 의견 수렴 및 분석
- 정책 보고서 자동 초안 생성 및 편집

Qwen3 Fine-tuning:

- 제주 지하수 관련 법령 및 정책 체계 학습
- 지하수 보전과 개발 이용 간 균형점 도출
- 국제 지하수 관리 우수 사례 학습 및 적용
- 제주형 지하수 거버넌스 모델 개발

구현 절차

1. 정책 분석 자동화 시스템 (4개월)

- 1개월차: 정책 데이터베이스 구축
 - 국내외 지하수 정책 자료 수집 및 분류
 - 제주 지하수 관련 법령 및 조례 DB 구축
 - 정책 효과 평가 지표 체계 정립
 - 이해관계자 의견 수집 플랫폼 구축
- 2개월차: 정책 효과 예측 모델 개발
 - 시나리오별 정책 영향 시뮬레이션
 - 비용 편익 분석 자동화 시스템
 - 정책 갈등 요인 분석 및 해결 방안 도출
 - 정책 우선순위 평가 알고리즘
- 3개월차: 자동 보고서 생성 시스템
 - AI 기반 정책 보고서 초안 작성
 - 데이터 시각화 및 그래프 자동 생성
 - 정책 제언 및 개선 방안 자동 도출
 - 다국어 정책 자료 번역 시스템
- 4개월차: 통합 정책 지원 플랫폼
 - 실시간 정책 모니터링 대시보드
 - 정책 의사결정 지원 시스템
 - 시민 참여형 정책 플랫폼

■ 정책 성과 평가 및 환류 시스템

직원별 업무 변화

정책연구팀장:

- 기존: 정책 연구 기획 및 보고서 작성 (주 38시간)
- 변화: AI 분석 결과 검토 및 정책 기획 (주 28시간)

정책연구팀원 2명:

- 기존: 자료 수집 및 분석, 보고서 작성 (1명당 주 36시간)
- 변화: AI 지원 고도화된 정책 분석 (1명당 주 25시간)

기대효과

- 정책 연구 효율성 70% 향상
- 데이터 기반 정책 의사결정 체계 구축
- 정책 수용성 및 실효성 제고
- 국제 수준의 정책 연구 역량 확보

3. 통합 시스템 아키텍처

기술 스택

- AI 플랫폼: DeepSeek R1 + Fine-tuned Qwen3
- IoT 플랫폼: AWS IoT + LoRa/5G 통신
- 해중 통신: 음향 통신 + 위성 통신
- 데이터 처리: Apache Kafka + Spark Streaming
- 지리정보: PostGIS + QGIS Server + ArcGIS
- 시뮬레이션: MODFLOW + MT3DMS + Python
- 시각화: D3.js + WebGL + Three.js

데이터 통합 및 보안

- 지하수 관정별 멀티센서 데이터 실시간 수집
- 기상청, 환경부, 해양수산부 등 외부 데이터 API 연동
- 블록체인 기반 데이터 무결성 보장
- 개인정보 보호 및 연구윤리 준수

4. 도입 일정

1단계: 지하수 모니터링 시스템 (6개월)

- 스마트 모니터링 네트워크 구축
- 실시간 데이터 수집 시스템 구축
- 기본 AI 분석 모델 개발

2단계: 해중 지하수 연구 시스템 (5개월)

- 해중 모니터링 장비 도입 및 설치
- 해수 침투 예측 모델 개발
- 연안 지하수 관리 시스템 구축

3단계: 정책 지원 시스템 (4개월)

- 정책 분석 자동화 시스템 구축
- AI 기반 의사결정 지원 시스템 개발
- 시민 참여 플랫폼 구축

5. 성과 지표 (KPI)

정량적 지표

- 지하수 모니터링 효율성: **80%** 향상
- 정책 연구 생산성: **70%** 향상
- 해중 지하수 탐사 연속성: **95%** 확보
- 오염 조기 발견율: **90%** 이상

정성적 지표

- 제주 지하수 보전 정책의 과학적 근거 강화
- 국제 수준의 지하수 연구 역량 확보
- 시민 참여형 지하수 거버넌스 구축
- 기후변화 대응 지하수 관리 체계 확립

6. 타 센터와의 연계 효과

제주학연구센터와 연계

- 제주 물 문화·역사 자료 디지털화 및 AI 분석
- 전통 용천수 이용 지식의 현대적 활용 방안
- 지하수 보전 인식 개선을 위한 교육 콘텐츠 개발

제주사회복지연구센터와 연계

- 지하수 접근성과 지역 복지 수준 상관관계 분석
- 취약계층 대상 안전한 지하수 공급 방안
- 지하수 관련 사회갈등 해결 및 상생 방안

시너지 효과

- 제주 지하수의 종합적 가치 평가 체계 구축
- AI 모델 공동 개발 및 성능 향상
- 통합 연구 플랫폼 구축
- 제주학 기반 지하수 연구의 특화 발전

7. 차기 계획

제주지하수연구센터 AI 자동화 완료 후, 다음 센터인 제주학연구센터로 확장 예정

- 제주학 연구 자료 AI 분석 시스템
- 디지털 아카이브 지능형 관리 시스템
- 제주 문화·역사 빅데이터 분석 플랫폼

작성일: 2025년 6월 24일