2025년도 주요사업 용역보고서

일반용역-2025-??

홍수위험 예측을 위한 MLOps 고도화 및 웹 기반 표출 시스템 구축

수행기관 : ㈜헤르메시스

2025.10.

KICT 한국건설기술연구원

홍수위험 예측을 위한 MLOps 고도화 및 웹 기반 표출 시스템 구축

보고서

2025.10.

(주)헤르메시스

목 차

제1장 과 업 범 위 ····· 1

1. 용역명 ····· 1

2. 용역 범위 ····· 1

2.1 MLOps에 발주처 신규 MODEL 적용 ····· 1

2.2 모델 결과의 웹 가시화 구축 ····· 1

2.3 제주도 위험도 표출시스템 실용화 ····· 2

제2장 사 업 수 행 내 용 ····· 3

1. 용역 수행 내용 ····· 3

1.1 MLOps에 발주처 신규 모델 적용 ····· 3

1.1.1 신규 모델의 MLOps 적용 ····· 3

1.1.2 발주처의 개발 환경 접근 지원 ····· 6

1.2 모델 결과 웹 가시화 구축 ····· 11

1.2.1 웹 GIS 분석 화면 구성 ····· 11

1.3 제주도 위험도 표출시스템 실용화 ····· 13

1.3.1 강우 기반 실시간 위험도 평가 ····· 13

1.3.2 WebGIS 위험도 시각화 ····· 15

1.3.3 강우 기반 실시간 위험도 평가 정확도 검증 ····· 25

1.3.4 제주지역 특화 K-FRM 플러그인 개발 ····· 29

제3장 결 론 ····· 30

참고문헌 ····· 31

표 차례

[표 1] 이력조회 화면 예시(2025.9.12. 사례) ····· 23
[표 2] AWS 관측지점(867) 강우량 - API URL 입력으로 수집(2025.9.18.) ····· 26

그림 차례

[그림 1] MS Silver Partner Data 분야 ····· 3
[그림 2] DNA 혁신기업(DATA 분야) ····· 3
[그림 3] Azure ML Studio 페이지 ····· 4
[그림 4] HermeSys MLOps GitHub 페이지 ····· 6
[그림 5] 대면 기술 협의-Azure 중심(의정부 고산동,2025.9.19) ····· 7
[그림 6] 수행사의 Git(Branching 기술) + MLOps 사용 사례 ····· 8
[그림 7] Azure Storage Explorer를 사용한 검토 예시 ····· 9
[그림 8] Azure Cost 중심 소팅 검토 사례 ····· 9
[그림 9] Azure portal에서의 resource 중심 검토 사례 ····· 10
[그림 10] 발주처와 공동연구를 통하여 개발한 홍수분야 웹 GIS 사례1(2022년) ····· 11
[그림 11] 발주처와 공동연구를 통하여 개발한 홍수 분야 웹 GIS 사례2(2022년) ····· 11
[그림 12] 수행사의 웹 GIS 페이지 프로토타입 ····· 12
[그림 13] 수집된 강수량 데이터 DB 객체 예시 ····· 13
[그림 14] 크리깅 기법이 적용된 제주 강우량 래스터 ····· 14
[그림 15] statcounter의 점유율 집계 추이(2025.9월 기준) ····· 15
[그림 16] 화면 구성안1 (초기 강우주제도) ····· 16
[그림 17] 화면 구성안2(초기 강우주제도) ····· 17
[그림 18] 화면 구성안3(초기 강우주제도) ····· 17
[그림 19] 화면 구성안(듀얼맵 방식) ····· 17
[그림 20] WebGIS 기능(확대축소, 이동) 화면 ····· 18
[그림 21] 침수위험수준 등급 분류(초기 운영) ····· 18
[그림 22] 침수위험수준 등급 분류(최종 채택) ····· 19
[그림 23] 자동 업데이트가 적용된 WebGIS 웹 페이지 ····· 19
[그림 24] 제주도 침수피해위험 정보 웹페이지 ····· 20
[그림 25] 제주도 침수피해위험 정보 웹페이지(행정구역 나열) ····· 20
[그림 27] 스마트폰에서의 조회 테스트 ····· 22
[그림 29] 이력 조회 Http REST 방식 접근 ····· 24
[그림 30] 2025년9월12일 오전 제주 호우피해 매스컴 보도 사례 ····· 24
[그림 31] ASOS 관측지점(184) 강우량 - 시스템상의 자동 수집 ····· 25
[그림 32] ASOS 관측지점(184) 강우량 - 매뉴얼 수집(API 사용) ····· 25
[그림 33] AWS 관측지점(867) 강우량 - 시스템상 실시간 수집(2025.9.12.) ····· 26
[그림 34] 지점 강우 크리깅 결과 확인 ····· 27
[그림 35] 제주도청 알람 부분 검증 ····· 27
[그림 36] 제주도 침수피해위험 정보(2025/9/12 06시 기준) ····· 28

제1장

과 업 범 위

1. 용역명

홍수위험 예측을 위한 MLOps 고도화 및 웹 기반 표출 시스템 구축

2. 용역 범위

2.1 MLOps에 발주처 신규 MODEL 적용

1) 신규 모델의 MLOPS 적용
- 발주처 제공 .py 소스코드 및 data file을 발주처 보유 MLOps 환경에 적용
- 적용 대상 MLOps 환경은 Azure ML Studio로 한정되며, 발주처 제공 Azure Subscription 내에서 작업 수행

2) 발주처의 개발 환경 접근 지원
- 소스코드 접근 환경 지원
- 발주처가 **GitHub를 통해 직접 코드(.py, .yaml)를 수정 가능하도록 구성

2.2 모델 결과의 웹 가시화 구축

1) 웹 GIS 분석 화면 구성
- 발주처 제공 가시화 체계에 따라 100m 격자 단위로 침수/비침수 결과 조회 구현
- 웹 화면에서 다음을 선택하여 결과 확인 가능하도록 UI 구성
  - 모델명 또는 분석명 (콤보박스 등)
  - 분석 수행 시점
- Azure ML 내에 존재하는 다수의 predict 결과를 구분하여 조회 가능하게 설계

- ‘가’항에서 적용한 신규 모델의 결과도 포함되어야 함

2) 웹 GIS 시스템 구축 및 납품

- 웹사이트는 발주처 Azure Subscription 안에 호스팅
- 범용 웹브라우저(예: Chrome)에서 접근 가능
- 사용자 편의를 위한 직관적인 지도 UI 제공 필요

2.3 제주도 위험도 표출시스템 실용화

1) 강우 기반 실시간 위험도 평가

- 1시간 단위 강우량 실시간 수집 체계 구축 (ASOS, AWS 기반, 제주도청 수신 가능)
- 3시간, 12시간 누적 강우 정보 자동 계산 기능 포함
- 발주처 기준에 따라 주의/경보 등급 자동 분류
  - 기준 공간 단위 예시: cell, 행정동, 표준유역, 중권역, 기상청 특보구역 중 택일
  - 공간보간 필요시 Kriging 기법 적용

2) WebGIS 위험도 시각화

- 위험 등급은 WebGIS 화면에 색상 등급 등으로 표출
- 평균 1시간 주기로 자동 업데이트(제주도청 시스템 여건에 따라 주기 조정 가능)

3) 제주지역 특화 K-FRM 플러그인 개발

- 제주 지역특성을 고려한 K-FRM 플러그인 기능 개발

제2장

사 업 수 행 내 용

1. 용역 수행 내용

1.1 MLOps에 발주처 신규 모델 적용

1.1.1 신규 모델의 MLOps 적용

수행사는 데이터 분야(빅데이터 분야, 분석 분야에서 각각)에서 Microsoft의 Silver Level 파트너로 인정받은 전문 기업이며, 한국지능정보사회진흥원(NIA)의 AI-미래전략센터가 2023년 발표한 『DNA 혁신기업(DATA 분야)』에 등재된 바 있다.

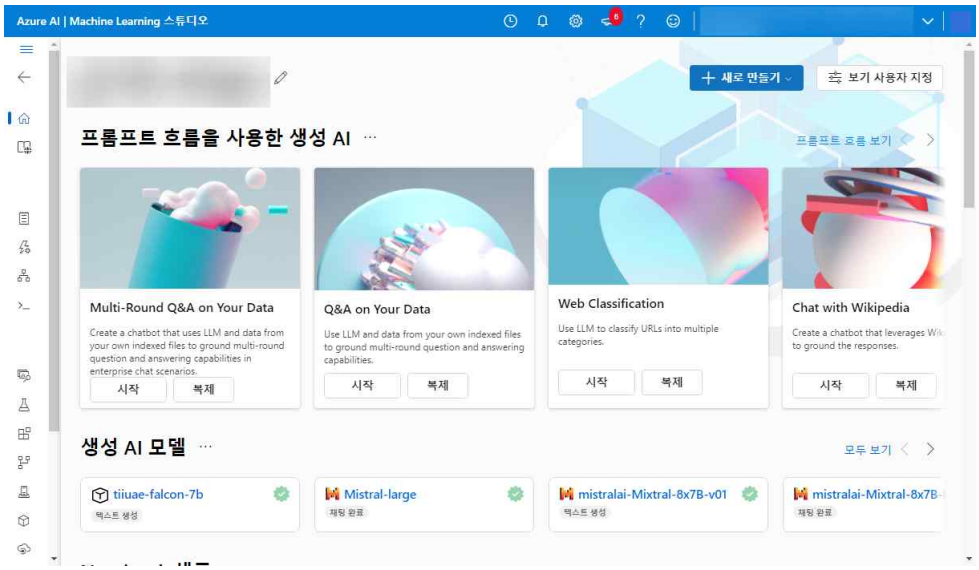
[그림 1] MS Silver Partner Data 분야

[그림 2] DNA 혁신기업(DATA 분야)

수행사는 MLOps 환경 구축 및 운영에 있어 다년간의 경험을 보유하고 있으며,

Microsoft Azure ML Studio 기반의 머신러닝 파이프라인 구현 역량을 보유하고 있다. 특히 2024년 발주처에서 발주한 선행 사업에 대한 수행 경험을 보유하고 있다. 본 용역에서는 발주처가 제공하는 .py 소스코드와 데이터 파일을 발주처 제공 Azure Subscription 내부 Azure ML Studio에 적용하였다.

[그림 3] Azure ML Studio 페이지



● 작업 환경 및 계정 구성

발주처에서 제공하는 Azure 구축용 어카운트를 기반으로, 모델 학습 및 예측 실행 환경을 설정하고, Azure ML Pipelines 및 Compute Instance/Cluster를 활용한 자동화 구성을 수행하였다.

● 저장소 이원화 전략

- GitHub: 학습 코드, 실험 설정 파일(.py, .yaml 등) 등 소스 중심 자산 저장소로 활용
- Azure ML: 데이터셋, 학습 결과(모델 아티팩트), 시각화 등 대용량 결과 중심 자산 저장소로 활용. 이 구조는 코드 변경과 버전 관리의 유연성과, 데이터·결과의 안정적 저장이라는 두 측면에서 유리한 조합을 제공한다.

● 발주처 신규 모델 개발지원

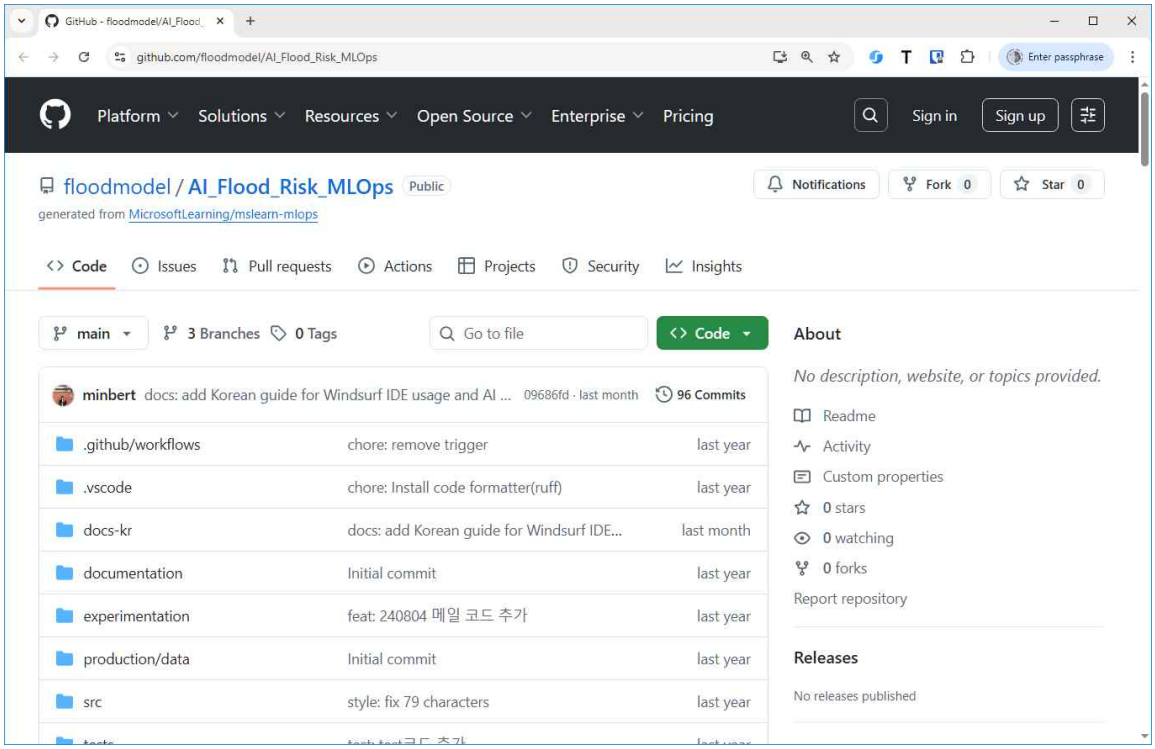
본 용역에서 데이터구축 대상이 명시되지는 않았다. 어떠한 규격의 원시데이터를 사용하여 어떠한 변환을 수행하고 어떠한 변환 후 결과를 산출하여 납품한다는 구체적 사항은 확정되지 않았으나, 본 용역에서 발주처의 모델 개발을 지원한다는 관점에서

수행사는 요청된 데이터 변환에 성실하게 임하였다. 특히 모델 개발이 선행되어야 알람을 위한 강우 기준 등이 확정되고 제주도청을 위한 웹사이트 개발 등이 원활하므로, 짧은 본 과업기간을 고려시 과업 초기에 상당한 집중 투자를(인원, 시간, 비용) 실시하였다. 예를 들어 지점데이터에서 격자데이터 구성 요구사항의 경우 단순 보간이 아닌 상대적으로 컴퓨팅 리소스가 추가적으로 요구되는 크리깅 기법으로 200건 이상의 강우 래스터를 구축하였으며, 요청 사항에 따라 1, 3 , 12 시간 누적 격자 강우를 구축 하였다. 또한 지점 강우의 보간에서 필연적으로 등장하는 마이너스 강우에 대한 후처리 래스터 또한 구축하여 공급하였다. 한편 발주처와 그 예하 위탁기관의 연구가 진행됨에 따라 보다 신속한 격자 강우 데이터공급의 소요가 발생하여 수행사는 이를 위한 전용 온라인 API를 개발하여 공급하였다. 즉 지점 데이터와 보간후 격자 데이터를 상호 이메일로 송수신하는 방법보다 더욱 신속한 온라인 API 체계를 제공함으로써 발주처의 원활한 연구 진행을 위해 노력하였다. 발주처의 모델 연구가 신속하게 진행되어야 본 용역 전체 리스크 저감에 긍정적이라는 판단하에 적극 투자하였다.

1.1.2 발주처의 개발 환경 접근 지원

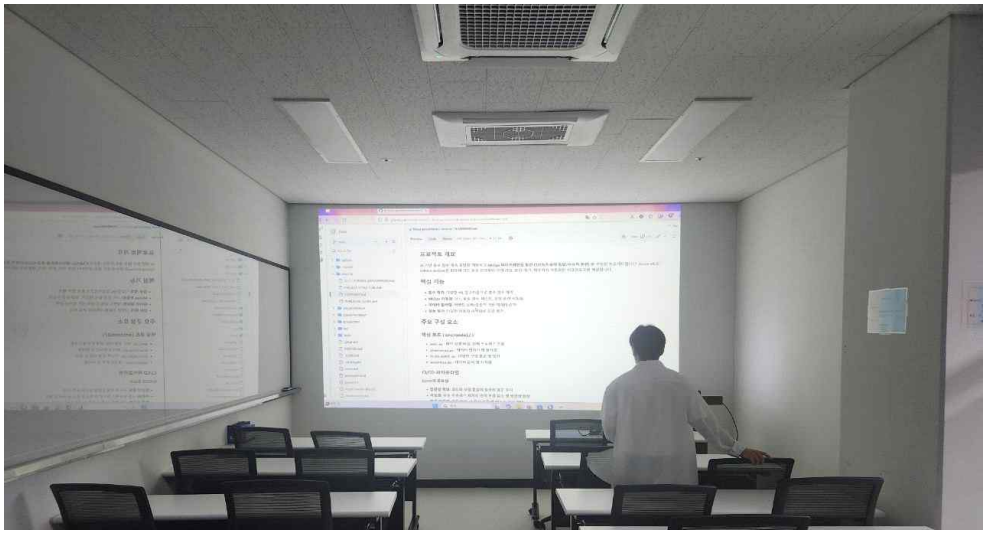
수행사는 GitHub에 대한 풍부한 운영 경험을 보유하고 있으며, 발주처와 공동으로 관리하는 GitHub Organization도 운용 중이다. 본 용역에서는 발주처가 제공하는 소스코드를 기반으로 GitHub와 Azure ML을 연계하여 MLOps 환경을 구성하고, 발주처가 직접 개발 및 유지보수에 참여할 수 있도록 지원한다.

[그림 4] HermeSys MLOps GitHub 페이지



이러한 지원은 온라인(원격회의,Email,전화 등)은 물론 오프라인 대면 기술 협의/지원을 통하여도 수행되었다.

[그림 5] 대면 기술 협의-Azure 중심(의정부 고산동,2025.9.19)



● GitHub 기반 코드 관리 환경 제공

- 발주처 관할 GitHub Organization 내 전용 Repository를 신설
- 코드 및 실험 설정 파일을 저장하여 발주처 개발자 또는 담당자가 직접 수정하도록 구성함
- GitHub Actions 연동을 통해 자동화된 테스트 및 배포 체계 구성

● 버전 관리 및 이력 추적 지원

- GitHub는 Git 기반의 분산 버전관리 시스템으로, 코드 변경 사항의 추적, 롤백, 협업이 용이하며, 실험 이력 관리 측면에서도 효과적인 도구이다.
- 발주처는 커밋 기록을 통해 실험 반복 및 최적화 과정을 손쉽게 검토할 수 있다.

[그림 6] 수행사의 Git(Branching 기술) + MLOps 사용 사례

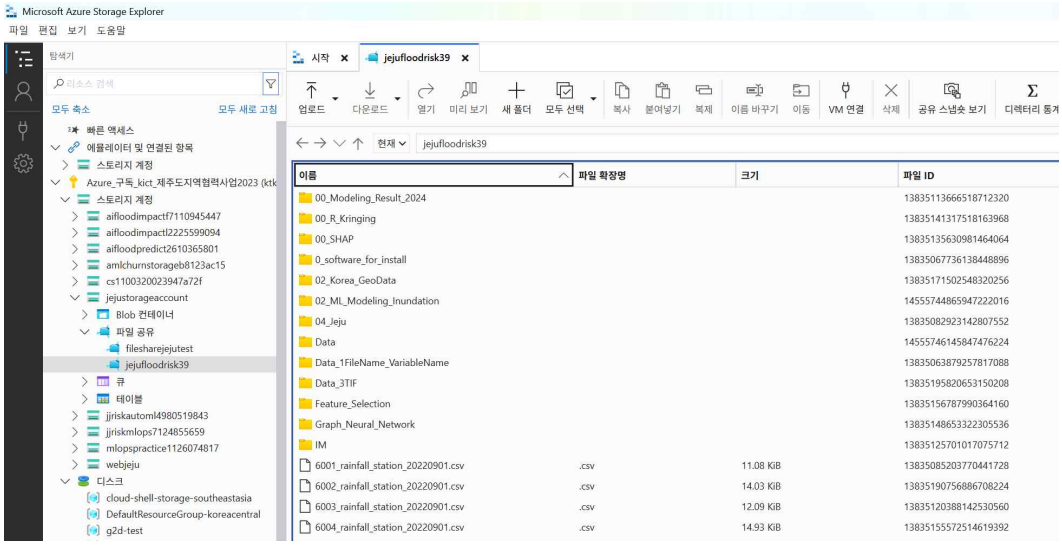
● Azure ML과의 연동 최적화

Azure ML은 Microsoft의 MLOps 전용 플랫폼으로, GitHub와의 연동을 통해 지속적 통합(CI) 및 지속적 배포(CD) 환경을 제공하며, 웹 기반 UI를 통해 비개발자도 실험 관리가 가능한 구조이다.

이를 통해 발주처는 향후 유지관리 및 개선 시 자체적인 운영을 모색할 수 있다. 2024년 수행 용역을 통하여 수행사는 발주처에 GitHub와 Azure 관련 노하우를 충분히 이전하였으며, 수행사는 현재 용도에 맞추에 효율적으로 활용중임을 확인할 수 있었다. 본 용역과정에서도 일부 추가적인 지원이 필요한 부분에 대하여는 추가적인 기술지원을 실시하였다.

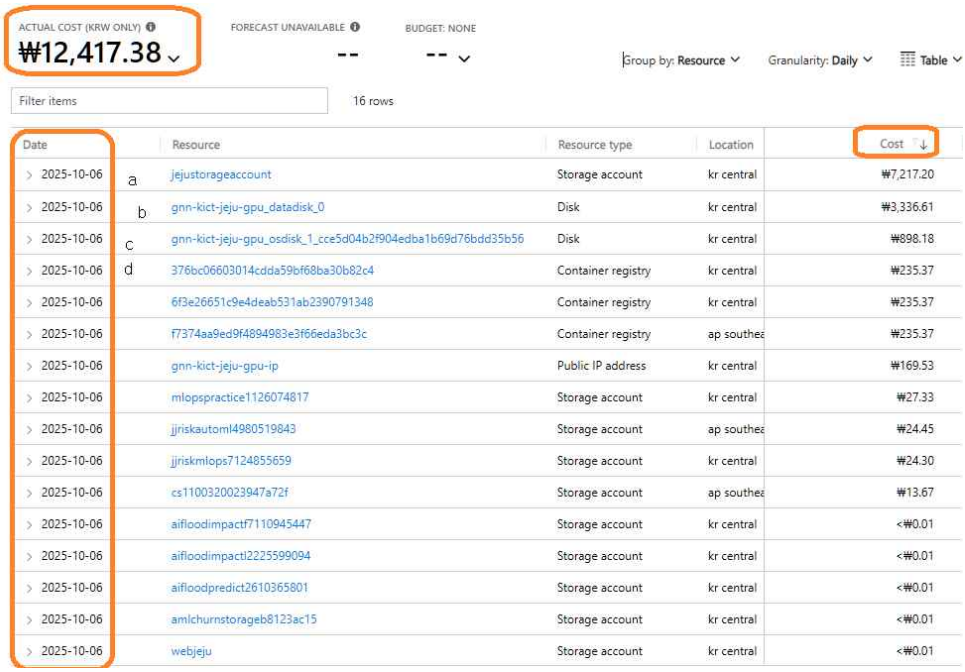
기타 이슈로 발주처의 Azure 코스트 부분 지원 사항이 있다(발주처의 코스트를 직접적으로 지원하는 것은 아님). 코스트에 대한 기술적인 컨설팅을 제공하였다. 수행사는 Azure Certified Engineer를 보유하고 있으며, 무엇보다 10년 이상 사용경험을 통하여 특히 코스트 부분에 대한 많은 선행 경험을 보유하고 있다. Azure는 과금이 발생하도록 최대한 유도하여 개발된 플랫폼이기에 완전 제거는 불가능하다. 또한 순수하게 Resource 목록을 기반으로 검토하면 과금이 없거나 매우 작은 리소스에 대하여 상당한 검토과정이 투자될 수도 있다. 검토 시간은 곧 또다른 코스트로(인건비) 직결된다.

[그림 7] Azure Storage Explorer를 사용한 검토 예시



따라서 ROI에 따라 검토한 후 리소스(Resource)를 감소해 나가는 방안이 바람직하다. 요약하자면 과금 비중이 높고 활용도가 낮은 순서로 소팅하여 검토해 나가는 기법이다.

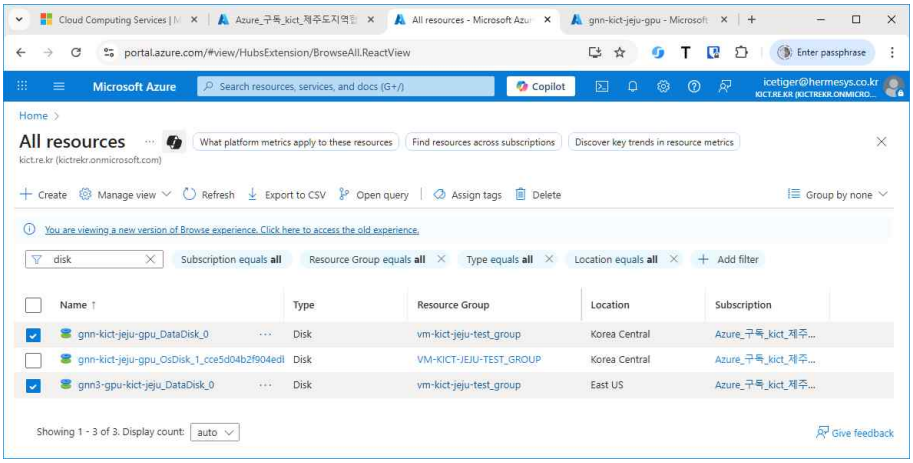
[그림 8] Azure Cost 중심 소팅 검토 사례



Date		Resource	Resource type	Location	Cost
2025-10-06	a	jejustorageaccount	Storage account	kr central	₩7,217.20
2025-10-06	b	gnn-kict-jeju-gpu_datadisk_0	Disk	kr central	₩3,336.61
2025-10-06	c	gnn-kict-jeju-gpu_osdisk_1_cce5d04b2f904edba1b69d76bdd35b56	Disk	kr central	₩898.18
2025-10-06	d	376bc06603014cdda59bf68ba30b82c4	Container registry	kr central	₩235.37
2025-10-06		6f3e26651c9e4deab531ab2390791348	Container registry	kr central	₩235.37
2025-10-06		f7374aa9ed9f4894983e3f66eda3bc3c	Container registry	ap southea	₩235.37
2025-10-06		gnn-kict-jeju-gpu-ip	Public IP address	kr central	₩169.53
2025-10-06		mlopspractice1126074817	Storage account	kr central	₩27.33
2025-10-06		jjriskautoml4980519843	Storage account	ap southea	₩24.45
2025-10-06		jjriskmlops7124855659	Storage account	kr central	₩24.30
2025-10-06		cs1100320023947a72f	Storage account	ap southea	₩13.67
2025-10-06		aifloodimpactf7110945447	Storage account	kr central	<₩0.01
2025-10-06		aifloodimpactl2225599094	Storage account	kr central	<₩0.01
2025-10-06		aifloodpredict2610365801	Storage account	kr central	<₩0.01
2025-10-06		amlchurnstorageb8123ac15	Storage account	kr central	<₩0.01
2025-10-06		webjeju	Storage account	kr central	<₩0.01

후보가 도출되면 정밀검사를 통하여 활용율, 의존성(해당 리소스를 삭제시 영향을 받거나 장애가 발생하는 다른 요소가 무엇인지 확인) 등을 검토해 나가는 기법이다.

[그림 9] Azure portal에서의 resource 중심 검토 사례

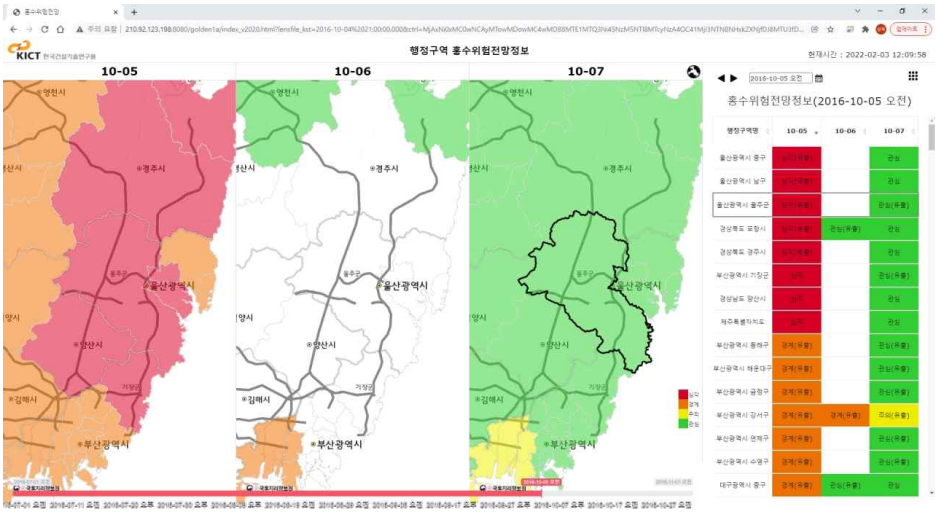


1.2 모델 결과 웹 가시화 구축

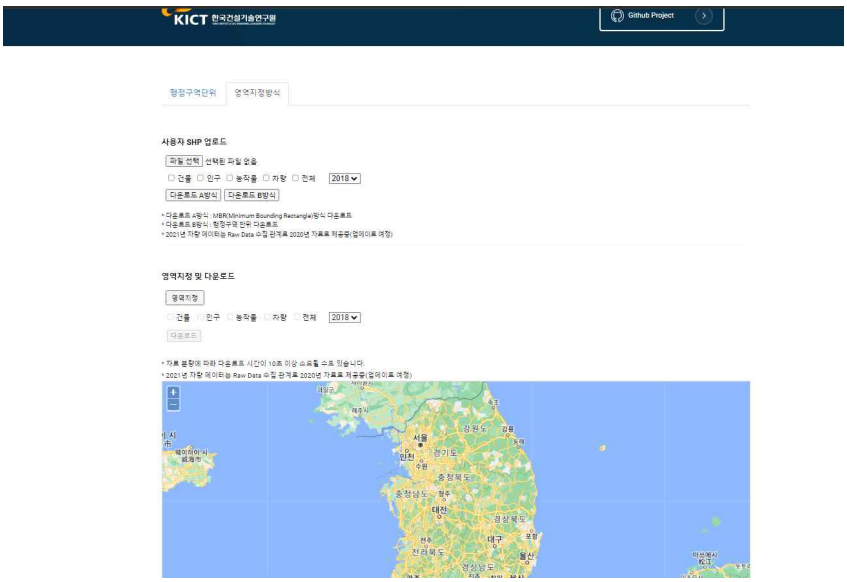
1.2.1 웹 GIS 분석 화면 구성

수행사는 물 분야 공간정보 웹 GIS 페이지를 다수 구비한 경험을 보유하고 있으며 본 단기 프로젝트에서도 이러한 선행 노하우를 활용하였다. 특히 물분야 웹사이트의 개발을 발주처 담당자와 수행한 경험을 활용하여 본 용역의 결과 가시화에 활용하였다.

[그림 10] 발주처와 공동연구를 통하여 개발한 홍수분야 웹 GIS 사례1(2022년)



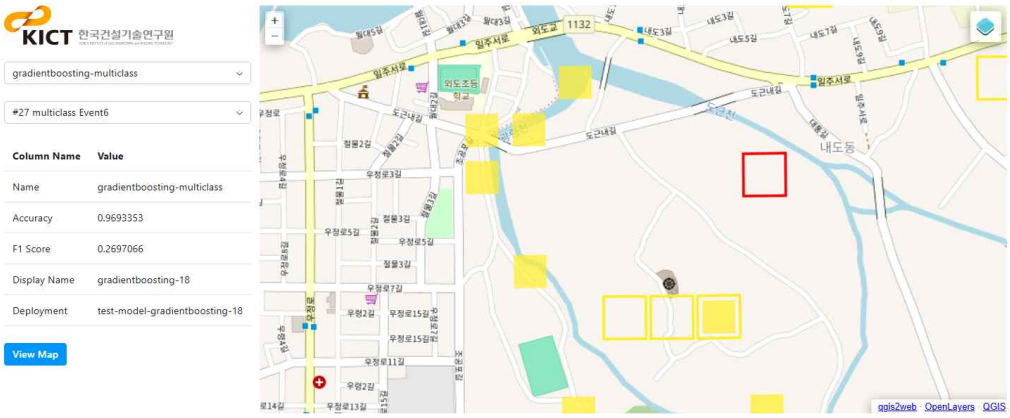
[그림 11] 발주처와 공동연구를 통하여 개발한 홍수 분야 웹 GIS 사례2(2022년)



본 용역의 모델과 연계되는 웹 GIS 페이지를 제작하였다. 해당 웹 페이지에서 100m

격자 단위로 분석된 발주처의 침수, 비침수 정보를 조회할 수 있다.

[그림 12] 수행사의 웹 GIS 페이지 프로토타입



상기 화면에서 제공하는 기능은 아래와 같다.

- 100m 격자단위로 침수정보 조회 가능
- 웹 화면에서 모델명 또는 분석명을 선택 가능하며, 이후 분석 수행 시점을 선택하여 조회
- Azure ML에 존재하는 Predict 결과를 조회 가능

해당 웹 사이트는 범용 표준 웹브라우저(구글 크롬)를 통해 조회가 가능하도록 구성하였다.

1.3 제주도 위험도 표출시스템 실용화

1.3.1 강우 기반 실시간 위험도 평가

● 1시간 단위 강우량 실시간 수집 체계 구축 (ASOS, AWS 기반)

본 시스템은 기상청에서 제공하는 공개 API를 활용하여 제주도 전역의 ASOS(종관기상관측) 및 AWS(자동기상관측장비) 관측소로부터 1시간 단위 강우량 데이터를 실시간으로 수집하도록 개발하였다. 자동화된 스케줄러를 통해 매시간 주기로 데이터를 요청하고 수신하여, 최신 강우 현황을 위험도 평가 모델에 반영할 수 있는 체계를 개발하였다.

[그림 13] 수집된 강수량 데이터 DB 객체 예시

	station_id [PK] integer	timestamp [PK] timestamp without time zone	precipitation_amount double precision
1	184	2025-03-11 17:00:00	9.9
2	184	2025-03-11 18:00:00	10.2
3	184	2025-03-11 19:00:00	9.8
4	184	2025-03-11 20:00:00	10.6
5	184	2025-03-11 21:00:00	10.4
6	184	2025-03-11 22:00:00	10.2
7	184	2025-03-12 00:00:00	10.1
8	184	2025-03-12 01:00:00	9.7
9	184	2025-03-12 02:00:00	9.2
10	184	2025-03-12 03:00:00	9
11	184	2025-03-12 04:00:00	9
12	184	2025-03-12 05:00:00	9
13	184	2025-03-12 06:00:00	8.9
14	184	2025-03-12 07:00:00	9
15	184	2025-03-12 08:00:00	9.3
16	184	2025-03-12 09:00:00	9.7

시스템 초기 설계는 DBMS를 경유하였으며, 추후 설계 개선을 통하여 DBMS를 생략하고 처리하였다. 시스템의 단순성이 증진되면 유지보수성이 개선된다.

수집된 데이터는 별도의 데이터베이스에 저장하지 않고, FastAPI 기반 백엔드에서 직접 처리되며, Kriging 공간보간에 활용되었다. 이 접근 방식은 불필요한 저장 및 조회 단계를 생략하고 데이터를 신속하게 분석하고 시각화할 수 있는 구조이다.

● 3시간, 12시간 누적 강우 정보 자동 계산 기능 포함

저장된 1시간 단위 강우 데이터를 사용하여 3시간 및 12시간 누적 강우량을 계산

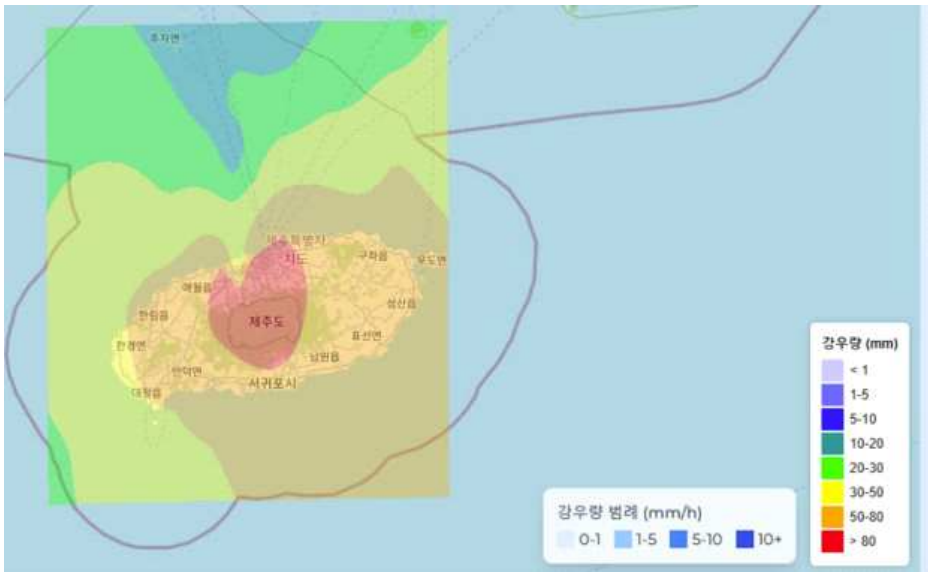
하는 프로세스를 구현하였다. 누적 강우량은 합산 방식으로 집계되며, 각 시점의 강우 기반 위험도 산정을 위한 핵심 자료로 활용되었다.

수집된 1시간 단위 강우 데이터는 시스템 내에서 시계열로 관리되며, 이를 기반으로 최근 3시간 및 12시간의 누적 강우량을 자동으로 계산하였다. 이 기능은 단기 집중호우로 인한 돌발적인 위험과 장시간 지속되는 강우로 인한 토양 포화 및 하천 수위 상승 등의 복합적인 위험 상황을 종합적으로 분석하기 위해 구현되었다.

● 발주처 기준에 따라 주의/경보 등급 자동 분류

본 용역의 초기 개발단계에서는 위험도 평가를 중권역 단위로 개발하였다. 이후 발주처와의 협의를 통하여 평가 영역을 조정하여 재개발하였다. 결국 위험도 평가는 행정동을 기본 공간 단위로 수행하였다. 먼저, 관측 지점별 강우 데이터를 크리깅(Kriging) 공간 보간 기법을 적용하여 제주도 전역에 대한 연속적인 강우 분포 맵으로 제작하였다.

[그림 14] 크리깅 기법이 적용된 제주 강우량 래스터



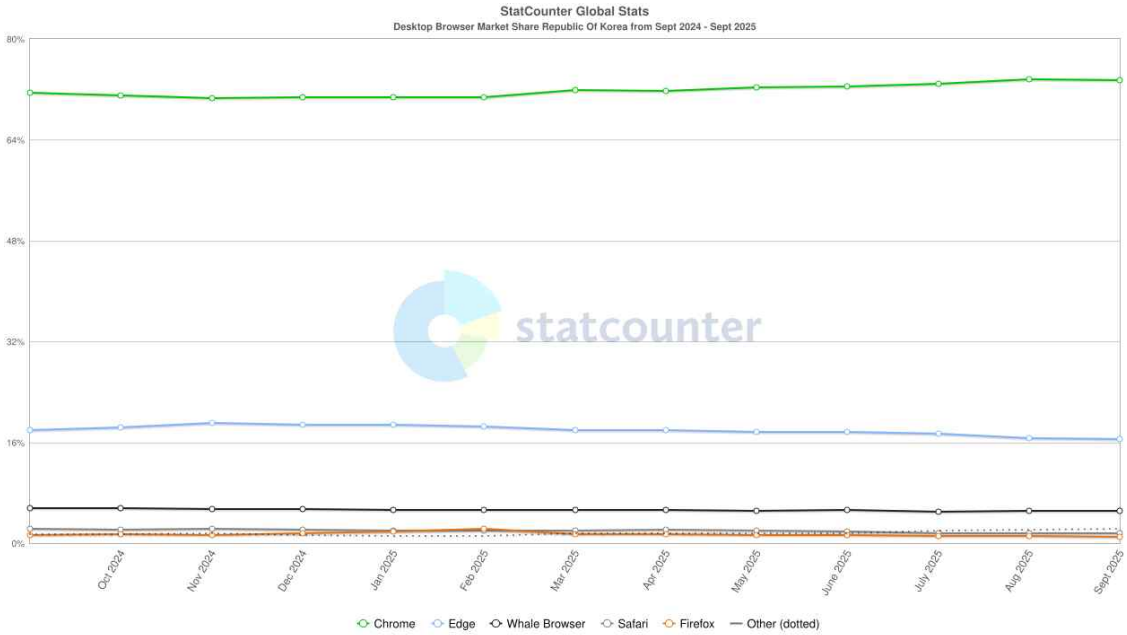
이후, 각 행정동별 평균 누적 강우량(3시간, 12시간)을 산출하고, 누적 강우와 발주처에서 제공한 위험 기준 임계값을 비교하여 '주의', '경보' 등의 위험 등급을 자동으로 부여하였다.

1.3.2 WebGIS 위험도 시각화

● 개발 환경의 구성

사용자의 접근 용이성을 높이기 위하여 웹브라우저 기반으로 개발하였다. 웹표준(HTML5 등)을 준수하여 호환성을 확보하였다. 웹표준 준수에 강점을 가진 Google Chrome Web Browser를 개발 환경 및 테스트 환경으로 활용하였다. 이에 대한 선정 근거는 대표적인 웹브라우저 점유율 정보 사이트인 스탯카운터에서도 확인할 수 있다. 2025년 9월 기준 대한민국 지역을 대상으로 집계된 내역에서 구글 크롬은 압도적인 1위를 유지하고 있으며, 그 다음으로는 MS Edge가 제시되고 있다.

[그림 15] statcounter의 점유율 집계 추이(2025.9월 기준)



● 개발된 웹사이트의 특징

- 실시간으로 산정된 위험도는 '주의', '경계' 두 등급으로 구분되며, 사용자가 쉽게 인지할 수 있도록 WebGIS 화면에서 영역 단위 색상 등급으로 표출된다. 각 등급은 시각적으로 명확한 색상 차이로 지도상에 표시되어, 사용자가 특정 지역의 위험 상황을 즉시 파악할 수 있다.
- 3시간, 12시간 누적 강우 정보 자동 계산 기능이 포함된다. 1시간 주기의 강우 데이터를 기반으로, 3시간 및 12시간 누적 강우 정보를 생성하였다.
- 위험도 정보는 평균 1시간 주기로 자동 업데이트된다. 향후 운영 환경에 따라 갱

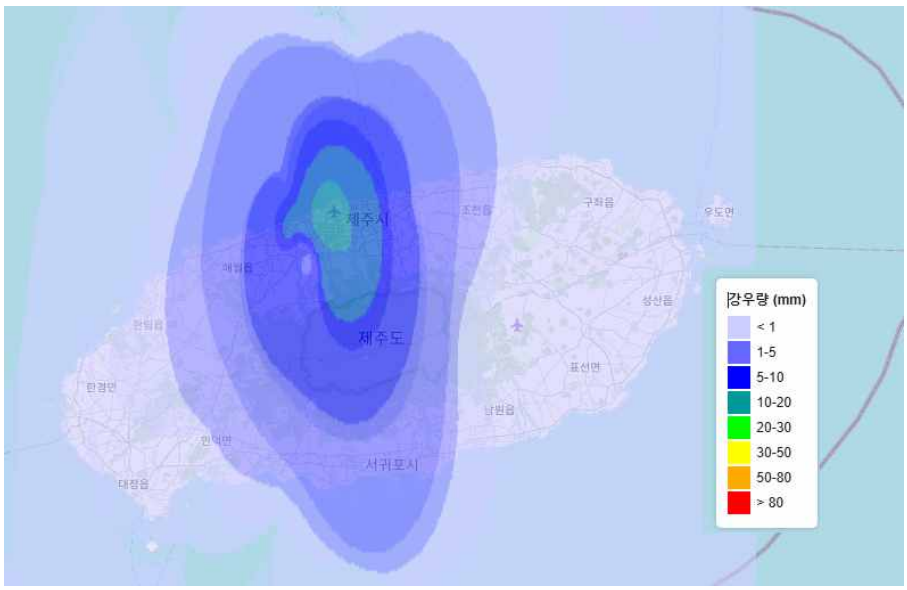
신 주기는 조정될 수 있다.(예를 들어 1시간, 3시간 등) 다만 주요 입력 시계열 강우가 1시간 단위 자료이므로 이보다 짧은 업데이트 주기가 적용되어도 실제 표출되는 정보는 유지된다.

- 사용자는 범용 웹 브라우저(Chrome, Edge 등)를 통하여 지정된 URL로 접속할 수 있으며, 별도 인증(로그인) 없이 쉽게 지도에 접근하여 실시간 위험 정보를 확인할 수 있다.
- 사용자는 별도의 설치 없이 웹브라우저를 통해 지도와 공간정보를 조회할 수 있다.
- 본 과업은 시험 운영을 조기에 시작하고 이를 통하여 피드백을 유연하게 반영하는 선진 애자일(Agile) 기법을 활용하여 수행하였다.

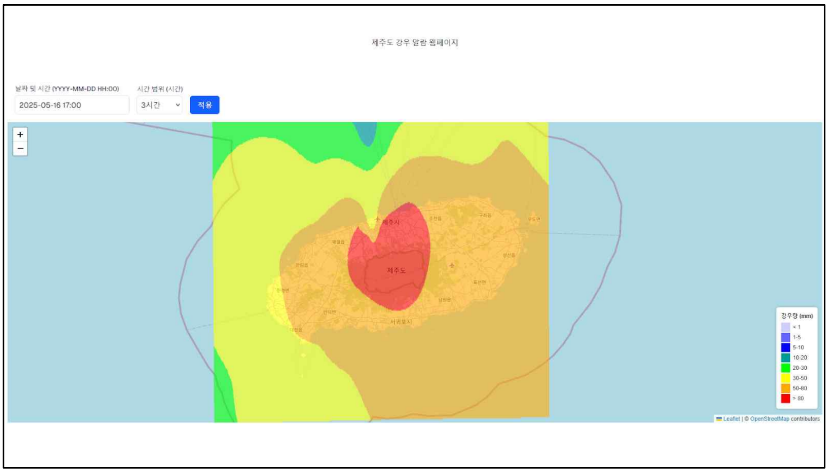
● 웹 화면 구성 과정

화면 구성을 위하여 다수의 프로토타이핑을 수행하였다. 아래 화면들은 도출되었던 프로토타이핑 화면 중 일부이다. 아래는 강우에 초점을 둔 화면 시안이다. 최종적으로는 엔드유저의 사용 목적에 부합하는 알람 수준 주제도가 채택되었다.

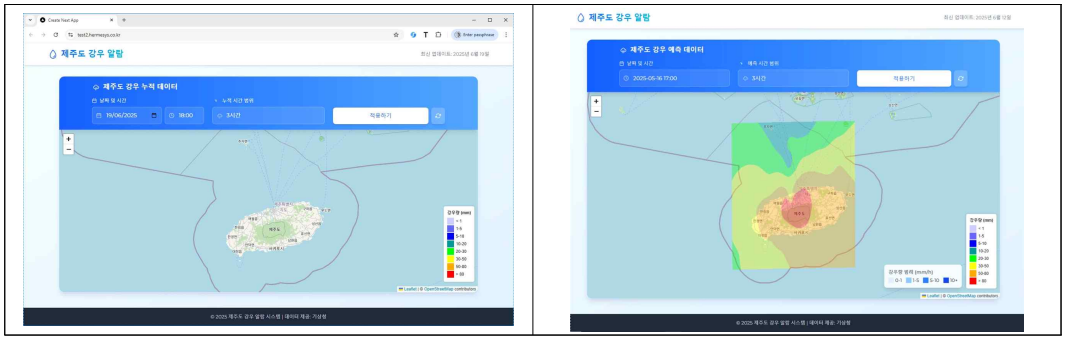
[그림 16] 화면 구성안1 (초기 강우주제도)



[그림 17] 화면 구성안2(초기 강우주제도)

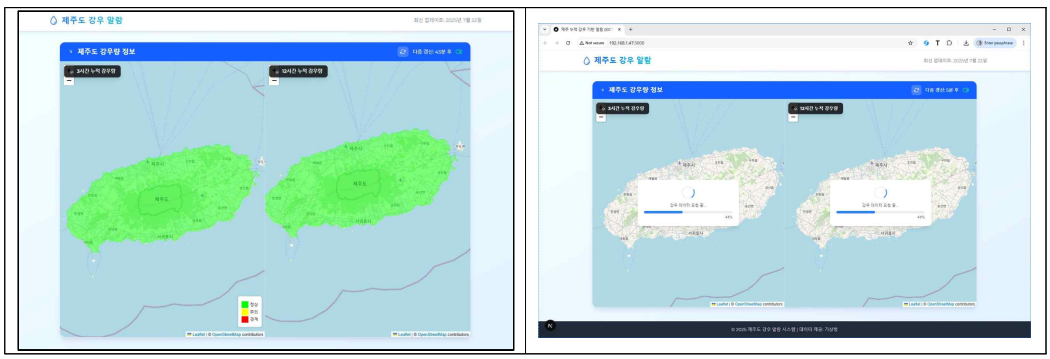


[그림 18] 화면 구성안3(초기 강우주제도)



아래는 두가지 누적시간 방식을 병행하여 제시하는 화면 구성안으로 조정된 이후의 시안이다.

[그림 19] 화면 구성안(듀얼맵 방식)

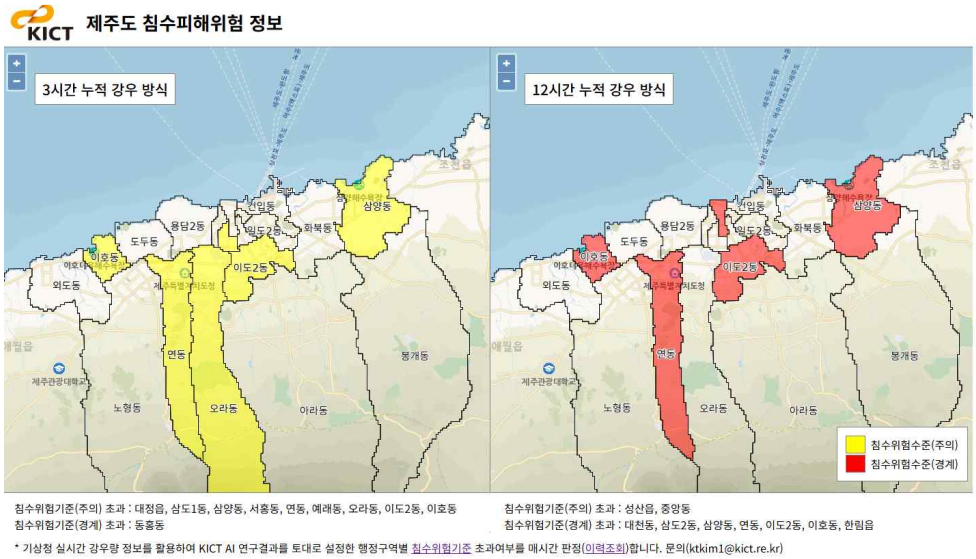


초기 시안들은 최종적으로 채택이 되지 못했지만, 수행사는 이러한 과정을 통하여 최종 목표 화면구성에 근접할 수 있었다.

● 듀얼맵 방식 WebGIS 표출

사용자는 지도의 확대, 축소 및 이동을 통해 지도를 제어할 수 있다. 한편 누적 시간은 두가지 방식으로 운용되며 화면에서 지도의 확대 축소시 자동으로 연동되어 동일한 지역을 조회할 수 있도록 개발하였다.

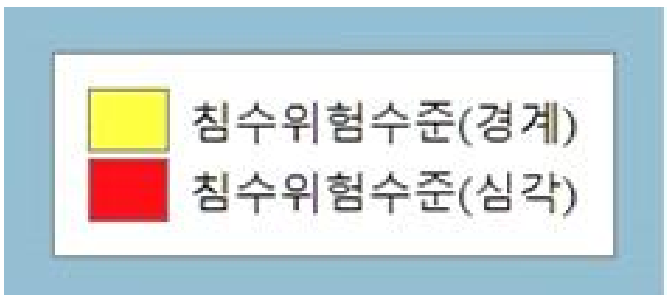
[그림 20] WebGIS 기능(확대축소, 이동) 화면



● 위험 등급 WebGIS 표출

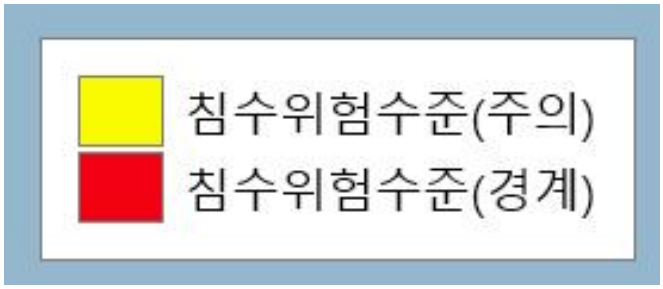
실시간으로 분석된 행정동별 위험 등급은 사용자가 직관적으로 인지할 수 있도록 WebGIS 지도상에 색상으로 표출되도록 개발하였다. 예를 들어, '주의' 단계는 노란색, '경보' 단계는 빨간색으로 각 행정동 영역을 채색하여, 지역별 위험 수준을 한눈에 신속하게 파악할 수 있도록 개발하였다. 본 과업 초기에 적용되어 운영된 범례는 아래 그림과 같다.

[그림 21] 침수위험수준 등급 분류(초기 운영)



시험 운영후 발주처와의 협의를 통하여 최종적으로 아래와 같이 범례가 조정되었다.

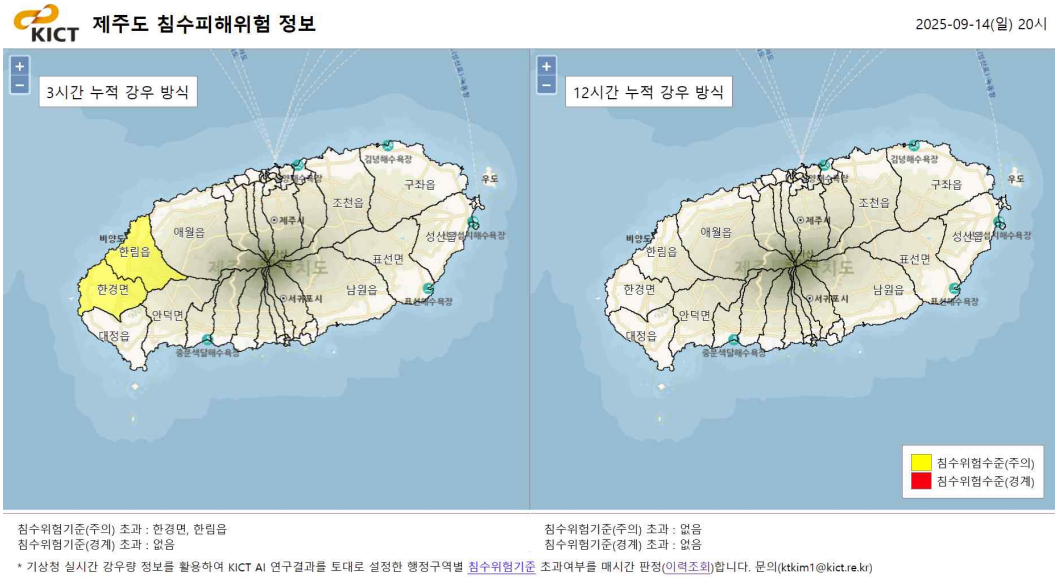
[그림 22] 침수위험수준 등급 분류(최종 채택)



● 1시간 주기 자동 업데이트

WebGIS에 표출되는 위험도 정보는 데이터 수집부터 분석, 시각화까지의 전 과정이 자동화되어 평균 1시간 주기로 갱신되었다. 이를 통해 사용자는 항상 최신 정보를 바탕으로 상황을 판단하고 의사결정을 내릴 수 있다. 단, 이 업데이트 주기는 실제 시스템 운영 환경 및 서버 부하 등을 고려하여 발주처와 협의 하에 안정적인 운영이 가능한 최적의 시간으로 조정될 수 있다. 현재 입력 강우 데이터는 1시간 주기이며, 따라서 화면은 매시각 기준으로 업데이트 되도록 개발하였다.

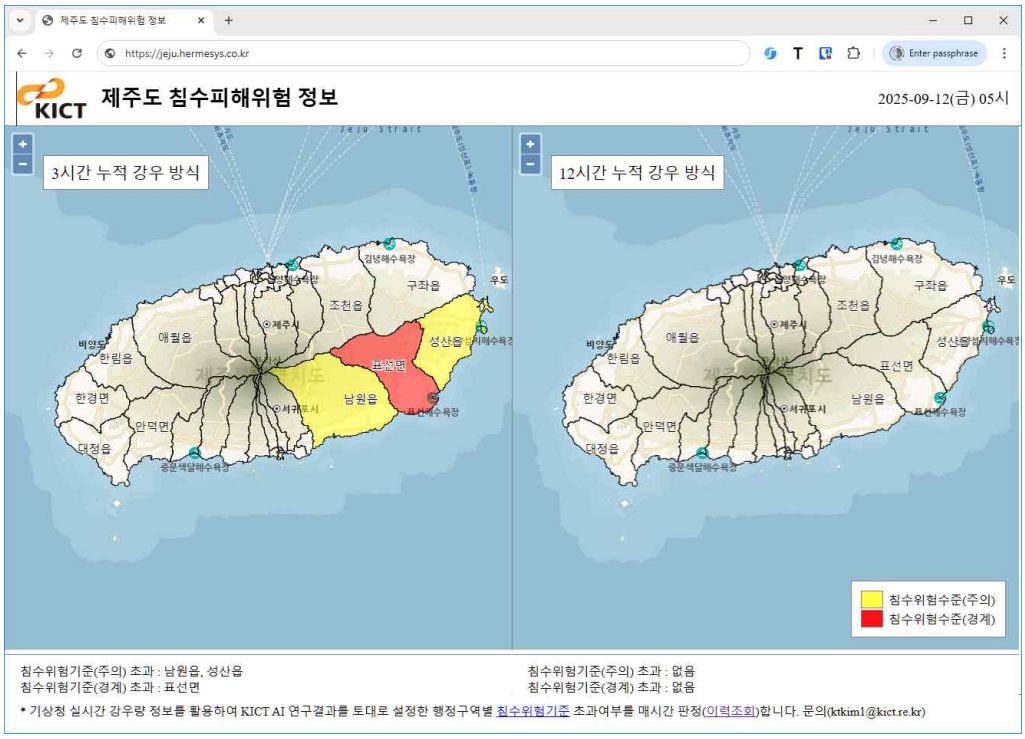
[그림 23] 자동 업데이트가 적용된 WebGIS 웹 페이지



● 최종 웹 화면 구성

해당 시스템은 제주도 침수피해위험 정보를 직관적으로 확인할 수 있도록 온라인 베이스맵을 활용하여 시각화 UI를 제공한다. 좌상단에는 시스템 명칭과 발주처 로고가 배치되고, 우상단에는 기준 시간이 표시된다. 지도에는 3시간 및 12시간 누적 강우량에 따른 침수위험 수준(주의·경계)이 주제도로 표시된다.

[그림 24] 제주도 침수피해위험 정보 웹페이지



하단에는 침수위험기준을 초과한 행정구역명이 함께 표기되어 사용자가 지역별 위험 현황을 확인할 수 있도록 하였다.

[그림 25] 제주도 침수피해위험 정보 웹페이지(행정구역 나열)

● 웹사이트에서 제공되는 침수위험기준 정보

기상청의 기상특보발표기준[1)]에 따르면 호우주의보는 "3시간 누적강우량이 60mm 이상 예상되거나 12시간 누적강우량이 110mm 이상 예상될 때" 호우경보는 "3시간 누적강우량이 90mm 이상 예상되거나 12시간 누적강우량이 180mm 이상 예상될 때" 발표된다. 즉 기상청 방식은 전국이 동일한 수치의 강우 기준에 따라 호우경보 등이 발령되고 있다. 본 시스템의 특징은 이와 달리 각 행정구역 별로 상이한 위험기준을 가진다는 점이다. 보다 자세한 상황 정보가 필요한 유저는 개발된 웹페이지 하단의 침수위험기준 LINK를 통하여 기준표를 조회할 수 있도록 개발하였다.

[그림 26] 침수 위험 기준표

시군구	읍면동	지속시간3시간 침수위험기준 (주의)	지속시간3시간 침수위험기준 (경계)	지속시간12시간 침수위험기준 (주의)	지속시간12시간 침수위험기준 (경계)
제주시	한경면	44.3	63.1	111.2	177.4
제주시	한림읍	45.6	73.1	118.9	195.9
제주시	애월읍	63.4	116.6	179.4	275.8
제주시	삼양동	68.7	78.6	198.3	227.8
제주시	이호동	69.5	110.9	188.2	278.8
제주시	삼도1동	69.6	100.3	187.8	262
제주시	도두동	69.9	106.8	186.1	272.4
제주시	용담1동	70.3	99.1	183	260.3
제주시	용담2동	70.8	101.4	192.8	264.1
제주시	삼도2동	71.3	96.2	182.1	256.1
제주시	외도동	72	115.6	193.7	285.8
제주시	일도1동	72.1	94.9	182.1	253.9
제주시	구좌읍	72.3	98.5	189.7	259.7
제주시	건입동	73.1	90.3	191.4	246.9
제주시	이도1동	74.2	97.5	196.6	257.8
제주시	일도2동	77.6	93.8	197.7	252
제주시	이도2동	77.8	101.6	212.1	263.5
제주시	화북동	78.2	86.8	207.2	241.3
제주시	조천읍	78.2	93.6	213.2	243.8
제주시	연동	81.6	124.7	229.8	297.5
제주시	봉개동	82.5	100.4	227.7	258.2
제주시	노형동	83.9	137.6	241.8	316
제주시	오라동	84.7	129.8	250.8	304.7

1) 출처 : https://www.weather.go.kr/w/community/knowledge/standard.do

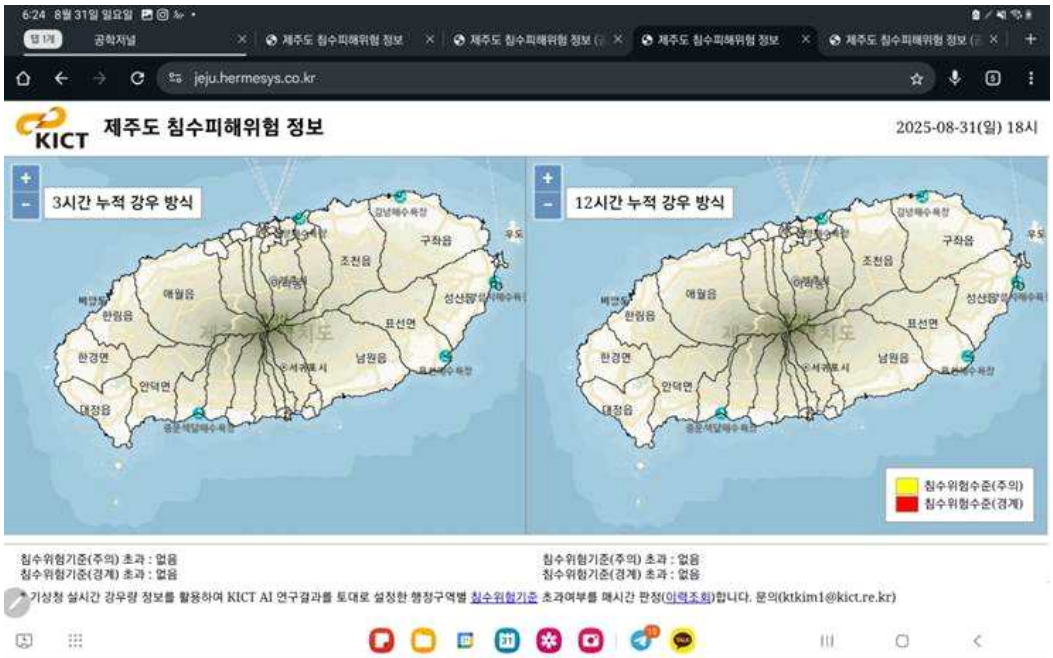
● 다양한 화면에서 조회 실험

본 과업범위에서 PC이외 특정 디바이스를 대상으로 개발하는 별도의 목표는 설정되지 않았으나, 보다 유연한 정보 접근을 위한 추가 실험을 수행하였다. 아래 그림은 스마트폰(갤럭시폰 사례)에서 정보조회 실험화면이다.

[그림 27] 스마트폰에서의 조회 테스트

아래 그림은 스마트패트(갤럭시패드 사례)에서 정보조회 실험화면이다.

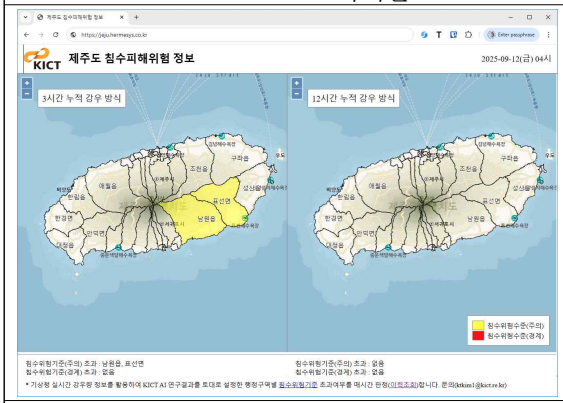
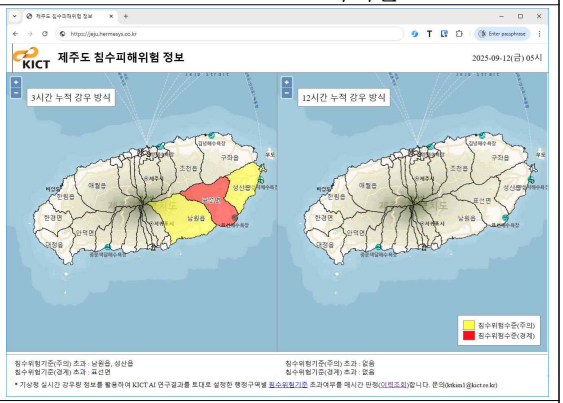
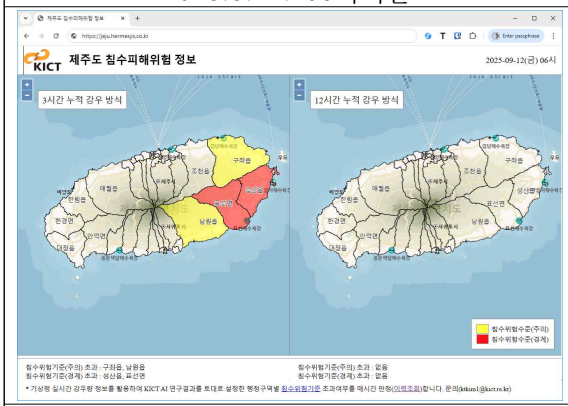
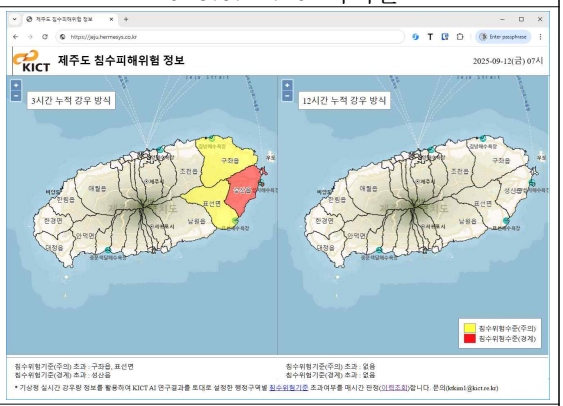
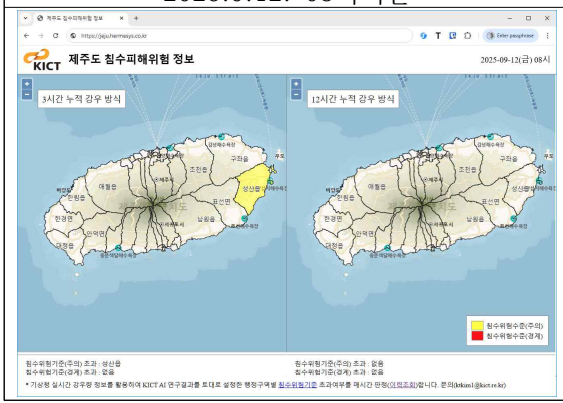
[그림 28] 스마트패드 디바이스에서의 조회 테스트



● 위험 발생 이력정보 조회

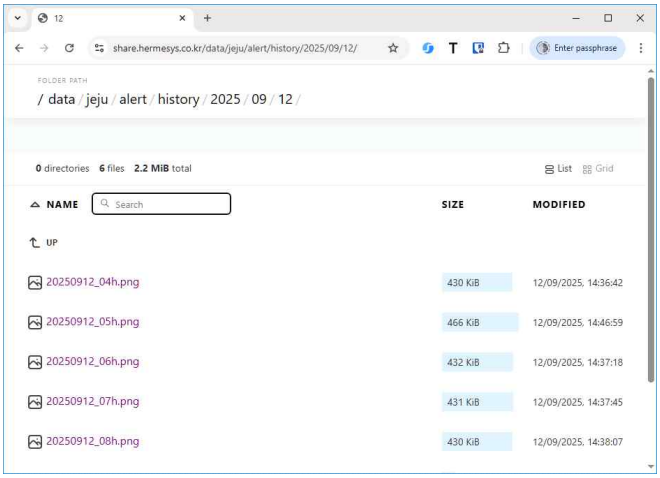
과업 기간중 실제로 강우에 의한 위험수준 알람정보가 발생하였다. 본 시스템에서는 이를 조회할 수 있도록 [이력조회] LINK를 제공하였다.

[표 1] 이력조회 화면 예시(2025.9.12. 사례)

2025.9.12. 04시기준	2025.9.12. 05시기준
	
2025.9.12. 06시기준	2025.9.12. 07시기준
	
2025.9.12. 08시기준	
	

각 시점별 이력정보는 Rest방식으로 접근 가능하도록 직관적으로 구성하였다.

[그림 29] 이력 조회 Http REST 방식 접근



한편 해당 시점에 대한 지역 언론의 관련 보도가 있었다. 수행사는 8월 12일부터 시스템 시험 가동을 시작하였다. 이를 위해 급행 투자(인력, 투자)를 하였기에 가능했다. 제주도 홍수 위험이 언제 발생할 지 모르기 때문이었으며 다행히 9월 12일 주요 이벤트에 시스템의 정상 작동 및 알람 발생 사례를 확보할 수 있었다.

[그림 30] 2025년9월12일 오전 제주 호우피해 매스컴 보도 사례

1.3.3 강우 기반 실시간 위험도 평가 정확도 검증

제주도 위험도 표출시스템 실용화를 위한 데이터 구축 결과의 정확도를 검증하여 시스템의 신뢰도를 높였다. 검증은 날짜는 2025년 9월 12일 06시 기준 3시간 누적과 12시간 누적 데이터를 대상으로 수행하였다.

● ASOS, AWS 강우값 샘플링 검증

기상청에서 제공하는 ASOS(기상관측소)와 AWS(자동기상관측장비) API를 활용하여 1시간 단위 강우값을 수집하였고, 시스템에서 자동 수집한 강우값과 비교하였다. ASOS 샘플링 비교 결과에서는 강우값이 모두 일치하는 것으로 확인하였다.

[그림 31] ASOS 관측지점(184) 강우량 – 시스템상의 자동 수집

R_CSV_20250912_new — Features Total: 41, Filtered: 41, Selected: 0

	station_id	r091119	r091120	r091121	r091122	r091123	r091200	r091201	r091202	r091203	r091204	r091205	r091206
1	184	0	0.0	NULL	0.0	0.0	0.6	2.3	0.8	0.0	4.5	9.5	21.7
2	185	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	NULL
3	188	NULL	NULL	0.2	0.4	NULL	0.1	0.0	0.0	9.3	23.3	59.1	76.9

[그림 32] ASOS 관측지점(184) 강우량 – 매뉴얼 수집(API 사용)

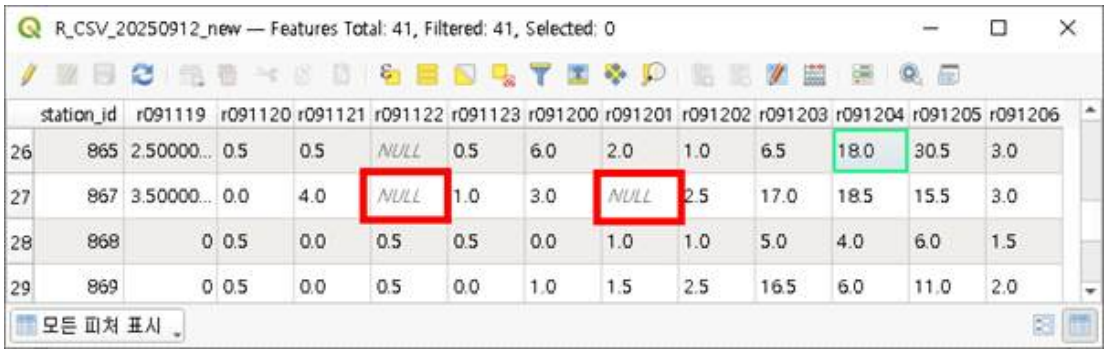
https://apihub.kma.go.kr/api/typ01/url/kma_sfctm3.php?tm1=202509111900

#----------
#234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123
YYMMDDHHMI STN WD WS GST GST GST PA PS PT PR TA TD HM PV RN RN
KST ID 16 m/s WD WS TM hPa hPa - hPa C C % hPa mm DAY
202509111900 184 7 4.0 -9 -9.0 -9 1009.9 1012.3 -9 -9.0 27.2 22.5 76.0 27.2 0.0 0.0
202509112000 184 7 3.5 -9 -9.0 -9 1010.0 1012.4 -9 -9.0 27.0 22.6 77.0 27.4 0.0 0.0
202509112100 184 7 4.3 7 12.0 1608 1010.2 1012.6 2 0.5 27.0 22.6 77.0 27.4 -9.0 0.0
202509112200 184 7 4.8 -9 -9.0 -9 1010.2 1012.6 -9 -9.0 26.9 22.7 78.0 27.6 0.0 0.0
202509112300 184 7 3.9 7 10.0 2216 1010.2 1012.6 -9 -9.0 26.3 22.9 82.0 27.9 0.0 0.0
202509120000 184 7 5.2 7 11.0 2339 1010.2 1012.6 4 0.0 26.2 22.4 80.0 27.1 0.6 0.6
202509120100 184 7 4.5 9 10.0 36 1009.5 1011.9 -9 -9.0 25.9 22.5 82.0 27.2 2.3 2.3
202509120200 184 7 4.5 5 12.0 118 1009.5 1011.9 -9 -9.0 26.0 23.2 85.0 28.4 0.8 3.1
202509120300 184 7 5.7 5 12.0 118 1008.9 1011.3 7 -1.3 25.7 22.5 83.0 27.2 0.0 3.1
202509120400 184 7 5.1 -9 -9.0 -9 1008.7 1011.1 -9 -9.0 24.8 22.0 85.0 26.4 4.5 7.6
202509120500 184 7 5.8 7 11.0 448 1008.8 1011.2 -9 -9.0 24.7 22.1 86.0 26.6 9.5 17.1
202509120600 184 7 4.7 7 11.0 448 1008.9 1011.3 4 0.0 23.5 21.0 86.0 24.9 21.7 38.8
#7777END

AWS 강우값 샘플링 비교 검증결과, 일부 차이가 확인되었으며 이는 API 호출 시점의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 시스템에서 실시간(2025.9.12.)으로 수집한 당시에

는 강우값이 NULL로 입력되어 있었으나, 검증 시점(2025.9.18.)에 동일 API를 호출한 경우에는 값이 입력된 사례가 확인되었다. 이는 NULL로 남아 있던 자료에 대해 추후 강우값이 확보되어 입력된 것으로 해석된다. 본 시스템의 알람은 실시간 수집 강우 정보를 기반으로 가시화하는 것을 목적으로 하고 있으므로, 이후 검증 작업은 실시간으로 수집된 강우 값을 기준으로 수행하였다.

[그림 33] AWS 관측지점(867) 강우량 - 시스템상 실시간 수집(2025.9.12.)



	station_id	r091119	r091120	r091121	r091122	r091123	r091200	r091201	r091202	r091203	r091204	r091205	r091206
26	865	2.50000...	0.5	0.5	NULL	0.5	6.0	2.0	1.0	6.5	18.0	30.5	3.0
27	867	3.50000...	0.0	4.0	NULL	1.0	3.0	NULL	2.5	17.0	18.5	15.5	3.0
28	868	0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	1.0	1.0	5.0	4.0	6.0	1.5
29	869	0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	1.5	2.5	16.5	6.0	11.0	2.0

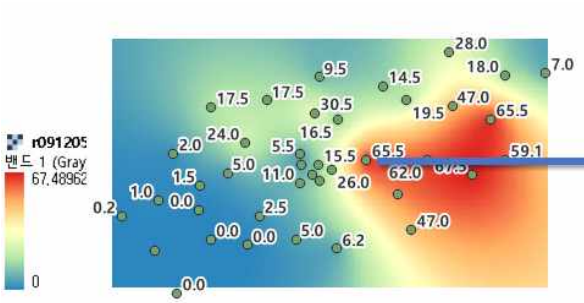
[표 2] AWS 관측지점(867) 강우량 - API URL 입력으로 수집(2025.9.18.)

YYMMDDHHMI KST	STN ID	RN_HR1 mm
202509111900	867	3.5
202509112000	867	0.0
202509112100	867	4.0
202509112200	867	**2.0**
202509112300	867	1.0
202509120000	867	3.0
202509120100	867	**5.0**
202509120200	867	2.5
202509120300	867	17.0
202509120400	867	18.5
202509120500	867	15.5
202509120600	867	3.0

● 지점 강우를 이용한 보간 및 강우 누적 검증

기상청 관측 지점 강우 데이터를 이용하여 2025년 09월 11일 19시부터 9월12일 06시까지(1시간 단위, 총 12건) 크리깅 보간 데이터를 구축하였다. 이를 기반으로 3시간 및 12시간 누적 강우량을 합산 방식으로 집계·생성하였으며, 수작업 산출 래스터와 자동 모듈 산출 래스터를 GridCalculation(범용 GIS도구인 QGIS의 내장 도구)으로 비교한 결과, 전 구간에서 100% 일치함을 확인하였다.

[그림 34] 지점 강우 크리깅 결과 확인



62.2	62.9	63.5	63.9	64.2	64.3	64.3	64.2
62.6	63.3	64.0	64.5	64.8	64.8	64.7	64.5
62.8	63.5	64.3	65.0	65.5	65.1	64.9	64.7
62.9	63.6	64.4	65.1	65.3	65.2	65.0	64.8
62.8	63.5	64.2	64.7	65.0	65.0	64.9	64.8
62.7	63.3	63.9	64.4	64.6	64.7	64.7	64.7

● 제주도 행정구역 단위 알람 검증

발주처에서 제공한 제주도 행정구역 구분용 래스터 파일을 활용하여 3시간 및 12시간 누적 데이터의 행정구역 단위 평균 강우를 산출하였다. 산출된 평균 강우는 발주처에서 제시한 지속시간별 호우경보와 호우주의보 기준과 비교하여 알람 대상을 구분하였다.

2025년 9월 12일 06시 기준으로 3시간 누적 강우에서 구좌읍·남원읍·성산읍·표선면에서 호우주의보, 성산읍·표선면에서 호우경보 알람 대상 행정구역이 확인되었다.[2] 12시간 누적강우에서는 알람 대상이 발생하지 않았다.

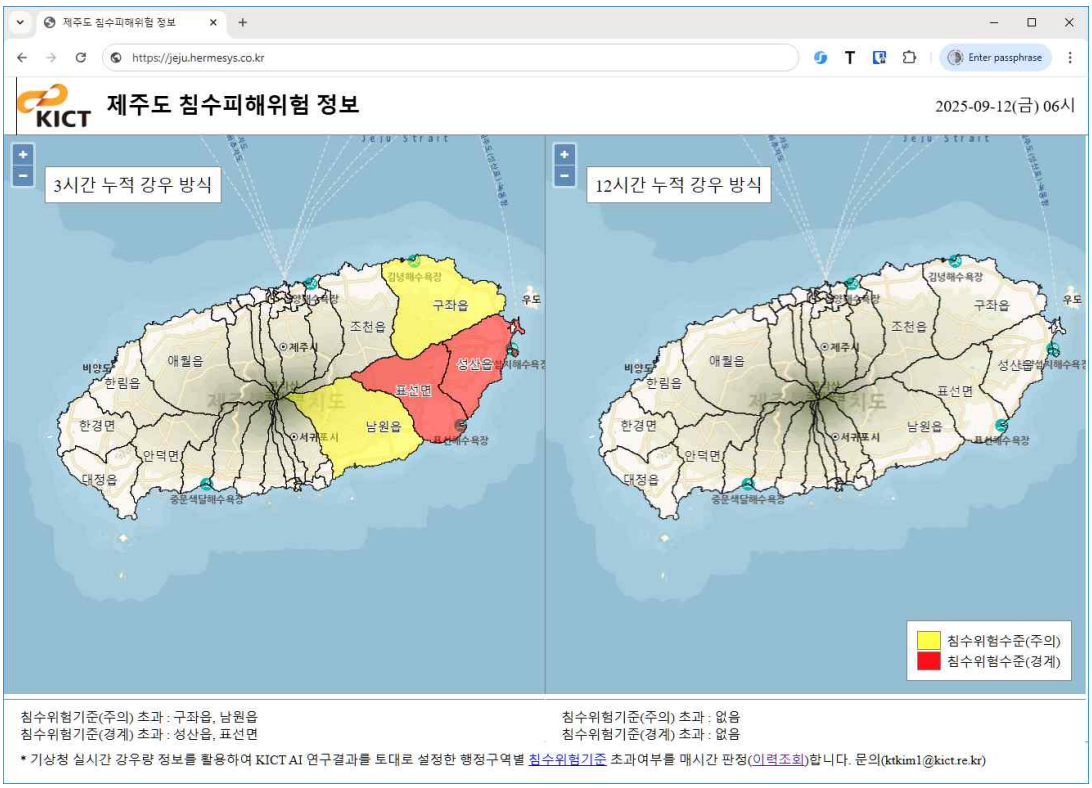
[그림 35] 제주도청 알람 부분 검증

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	zone	ADM_CD	ADM_NM	r2025091206_3h	r2025091206_12h	지속시간별 기준				r2025091206_3h 알람		r2025091206_12h 알람			지속시간별 기준 비율(%)			
2						3h5_호우주의보	3h30_호우경보	12h5_호우주의보	12h30_호우경보	3h5_호우주의보	3h30_호우경보	12h5_호우주의보	12h30_호우경보		3h5_호우주의보	3h30_호우경보	12h5_호우주의보	12h30_호우경보
3	1	39010520	일도2동	37.08627	43.335625	77.620003	93.779999	197.669998	252.000000	0	0	0	0		47.8%	39.5%	21.9%	17.2%
4	2	39010530	이도1동	37.751316	43.860748	74.160004	97.510002	196.600006	257.760010	0	0	0	0		50.9%	38.7%	22.3%	17.0%
5	3	39010540	이도2동	40.994028	51.184305	77.760002	101.629997	212.050003	263.549988	0	0	0	0		52.7%	40.3%	24.1%	19.4%
6	4	39010670	외도동	40.014685	46.404326	72.000000	115.550003	193.669998	285.829987	0	0	0	0		55.6%	34.6%	24.0%	16.2%
7	5	39010680	이호동	39.350191	45.566300	69.470001	110.940002	188.229996	278.829987	0	0	0	0		56.6%	35.5%	24.7%	16.6%
8	6	39010690	도두동	38.891933	45.002098	69.860001	106.790001	186.050003	272.420013	0	0	0	0		55.7%	36.4%	24.2%	16.5%
9	7	39020580	서홍동	36.477959	69.644917	103.129997	151.339996	224.860001	327.380005	0	0	0	0		35.4%	24.1%	31.0%	21.3%
10	8	39020590	대륜동	30.316463	56.183668	107.940002	145.839996	228.619995	317.720001	0	0	0	0		28.1%	20.8%	24.6%	17.7%
11	9	39020600	대천동	25.002923	45.244593	99.500000	143.080002	216.919998	315.410004	0	0	0	0		25.1%	17.5%	20.9%	14.3%
12	10	39020610	중문동	14.989474	25.612354	76.559998	137.110001	183.300003	307.709991	0	0	0	0		19.6%	10.9%	14.0%	8.3%
13	11	39020620	예래동	5.934834	10.28213	67.059998	121.129997	169.770004	283.519989	0	0	0	0		8.9%	4.9%	6.1%	3.6%
14	12	39020520	정방동	28.03024	56.465708	93.330002	143.580002	203.250000	310.109985	0	0	0	0		30.0%	19.5%	27.8%	18.2%
15	13	39020530	중앙동	29.568905	58.693592	92.430000	144.990005	202.220001	312.720001	0	0	0	0		32.0%	20.4%	29.0%	18.8%
16	14	39020540	천지동	26.666903	53.222615	92.940002	142.770004	203.419998	309.339996	0	0	0	0		28.7%	18.7%	26.2%	17.2%
17	15	39020550	효돈동	78.254653	123.140283	98.480003	145.179993	216.020004	311.480011	0	0	0	0		79.5%	53.9%	57.0%	39.5%
18	16	39020560	영천동	65.302666	112.850969	102.199997	156.110001	227.520004	336.920013	0	0	0	0		63.9%	41.8%	49.6%	33.5%
19	17	39020570	동홍동	42.956025	80.743028	101.139999	152.889999	225.000000	330.010010	0	0	0	0		42.5%	28.1%	35.9%	24.5%
20	18	39010110	한림읍	7.758825	8.319825	45.570000	73.070000	118.930000	195.929993	0	0	0	0		17.0%	10.6%	7.0%	4.2%
21	19	39010120	애월읍	29.86186	36.089576	63.410000	116.589998	179.399994	275.799988	0	0	0	0		47.1%	25.6%	20.1%	13.1%
22	20	39010130	구좌읍	80.843541	86.27841	72.290001	98.489998	189.710007	259.679993	1	0	0	0		111.8%	82.1%	45.5%	33.2%
23	21	39010140	조천읍	62.478654	80.578642	78.199997	93.580002	213.160004	243.779999	0	0	0	0		79.9%	86.8%	37.8%	33.1%
24	22	39010310	한경면	0.88474	1.282007	44.340000	63.080002	111.230003	177.380005	0	0	0	0		2.0%	1.4%	1.2%	0.7%
25	23	39020110	대정읍	0.038477	1.699295	59.799999	63.880001	130.940002	173.179993	0	0	0	0		0.1%	0.1%	1.3%	1.0%
26	24	39020120	남원읍	132.993175	186.793908	84.440002	133.649994	204.289993	305.859985	1	0	0	0		157.5%	99.5%	91.4%	61.1%
27	25	39020130	성산읍	127.325997	138.224133	61.790001	95.730003	165.289993	254.000000	1	1	0	0		206.1%	133.0%	83.6%	54.4%
28	26	39020310	안덕면	3.45485	5.326304	55.709999	99.209999	147.699997	239.949997	0	0	0	0		6.2%	3.5%	3.6%	2.2%
29	27	39020320	표선면	127.141751	156.966106	64.250000	102.959999	174.660004	268.690002	1	1	0	0		197.9%	123.5%	89.9%	58.4%
30	28	39020510	송산동	54.012011	90.607036	92.599998	141.699997	203.440002	305.819995	0	0	0	0		58.3%	38.1%	44.5%	29.6%
31	29	39010550	삼도1동	38.672168	45.451416	69.550003	100.320000	187.750000	262.019989	0	0	0	0		55.6%	38.5%	24.2%	17.3%
32	30	39010510	일도1동	36.096906	40.26495	72.080002	94.860001	182.149994	253.949997	0	0	0	0		50.1%	38.1%	22.1%	15.9%
33	31	39010560	삼도2동	36.532072	41.041773	71.260002	96.209999	182.050003	256.059998	0	0	0	0		51.3%	38.0%	22.5%	16.0%
34	32	39010570	용담1동	37.613444	43.048474	70.279999	99.059998	183.029999	260.329987	0	0	0	0		53.5%	38.0%	23.5%	16.5%
35	33	39010580	용담2동	37.848997	43.216644	70.809998	101.370003	192.820007	264.079987	0	0	0	0		53.5%	37.3%	22.4%	16.4%
36	34	39010590	건입동	35.384487	39.793404	73.139999	90.250000	191.440002	246.889999	0	0	0	0		48.4%	39.2%	20.8%	16.1%

2) 발주처는 엔드유저용 제주 웹페이지에서의 범례 문구는 각각 주의,경계로 조정한 바 있다.

또한 [제주도 침수피해위험 정보] 웹 알람 가시화 화면과 비교한 결과, 동일한 행정구역에서 알람 발생이 확인되었다.

[그림 36] 제주도 침수피해위험 정보(2025/9/12 06시 기준)



1.3.4 제주지역 특화 K-FRM 플러그인 개발

● 제주 지역특성을 고려한 K-FRM 플러그인 기능 개발

당사는 K-FRM의 내부 연산 구조, 위험도 평가 방식, 공간분석 흐름 등에 대한 풍부한 실무 경험을 보유하고 있으며, 기존 프로젝트를 통해 플러그인 개발 및 통합 테스트를 수행한 이력이 있다. 이와 같은 경험을 바탕으로, 제주도 맞춤형 플러그인을 개발하였다.

본 사업에서는 발주처가 활용 중인 K-FRM(기후기반 재해위험도 평가 시스템)과의 연계를 고려하여, 제주 지역의 지형·기후 특성을 반영한 전용 플러그인 기능을 개발하였다. 제주 지역특성을 고려한 원단위 정보를 발주처에서 제공하였으며, 수행사는 이를 적용하여 K-FRM 플러그인에 반영하였다.

제3장

결 론

인공지능 그중에서도 분류(Classification) 분야 머신러닝을 깊이 활용한 수재해 분야 적용 사례는 실제 접하기 어렵다. 수행사는 Azure 클라우드 플랫폼, 공간정보 분야 Data Engineering 분야에서는 국내 최고 수준의 노하우를 보유하고 있으나, 이를 머신러닝 기반으로 수재해 분야 홍수 위험 지역 예측에 활용한 사례는 없었다. 본 용역은 짧은 기간, 높은 수준의 불확실성을 가지는 도전적인 용역이었고, 발주처의 적극적인 지원과 협조를 통하여 완수될 수 있었다.

한편 G20(남아공 주관)에서는 2025년 가을 머신러닝(Classification 등)을 활용한 재해(홍수 등) 적용 경진 대회를 개최한 바 있고[3], 과기부 주관 한국 대표팀에 본 수행사의 멤버도 초빙되어 참여하게 되었다. 파이널리스트(본선)까지는 들어갔으나 최종 입선은(중국, 남아공, 싱가폴) 하지 못하였다. 극히 짧은 기간과 매우 부족한 기초 데이터 등으로 한계가 있었으나, 본 용역에서 접한 발주처의 선진 기술은 향후 다양한 분야에서 뛰어난 활용도를 가질 것으로 예상된다.

한편 2025년 여름 발주처와 함께 제주도 유관(수재해) 시스템 개발사와 미팅을 수행한 바 있다. 전반적으로 우호적인 분위기에서 기술적인 협의가 이뤄졌으나, 제반 여건(발주, 기간, 제약사항 등)으로 인해 본 성과물이 제주도 현업에 직접 연결되지는 못하였다. 이러한 성과물이 향후 재사용되고 확장, 발전할 수 있도록 관련 여건이 더욱 성숙되기를 기대한다. 본 수행사도 후속 발전을 위한 기술개발을 지속하겠다.

3) https://www.dsti.gov.za/index.php/media-room/latest-news/4784-g20-riwg-hackathon-uses-innovation-to-tackle-informal-urban-expansion-and-flood-risk

참고문헌

㈜헤르메시스 (2023). 홍수해석을 위한 K-FRM 구성 체계 및 GQIS-GRM 개선. 일반용역-2023, 한국건설기술연구원

㈜헤르메시스 (2024). AI 홍수위험도 예측을 위한 MLOps 구성 및 환경 구축. 일반용역-2024, 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원(2024). ,지역특성을 반영한 홍수관리기술 개발. KICT 2024-070

Ambler, S.W. and Lines, M. (2020) 'Introduction to Disciplined Agile Delivery - Second Edition', Project Management Institute

Association for Project Management(APM). (2012) APM Body of Knowledge, 6th edn, APM

Pierre Bourque, Richard E. Fairley, and IEEE Computer Society. 2014. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK(R)): Version 3.0 (3rd. ed.). IEEE Computer Society Press, Washington, DC, USA.

Project Management Institute(PMI), Inc. (2021). "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) -- Seventh Edition and The Standard for Project Management", Pennsylvania, USA