

안전플랫폼 및 재난재해 서비스

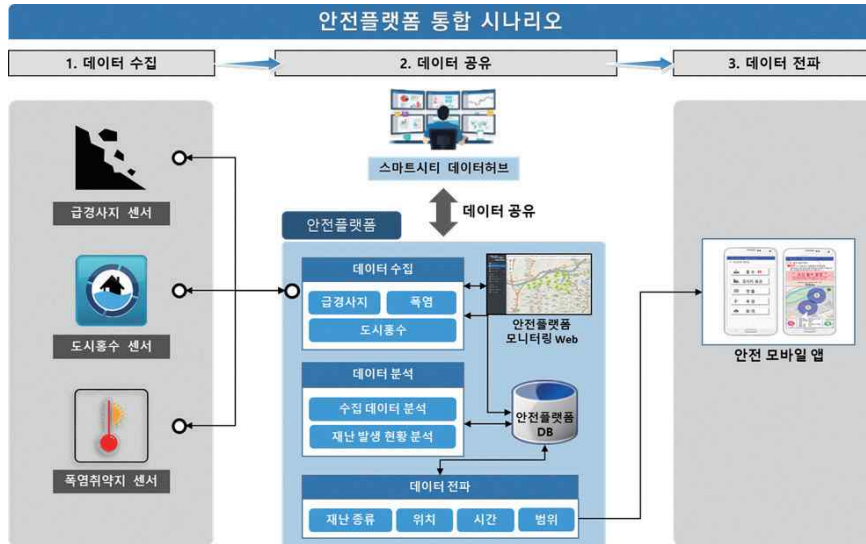
Technical Report [2부-3권]

스마트시티
혁신성장동력 프로젝트

[2-1세부과제]
주관연구기관-한국토지주택공사

과제명	데이터공유를 통한 도시 재해재난 안전 및 사회안전 긴급구난 기술 개발	연구기간	'18.10 ~ '22.12 (4년 2개월)
		예산	총 67.2억원 (정출금 : 46.2억원)

개념도 (서비스 시나리오)



KPI (성과지표)	시민 대피시간 최소 확보	30분 ↑	서비스 만족도	80점 이상
------------	---------------	-------	---------	--------

과제 개요

- (배경) 재해재난으로부터 시민의 안전을 지키기 위해 흩어져 있는 재난정보를 수집하고 데이터를 통합 분석하여 신속한 대응 및 상황 전파가 가능한 안전플랫폼이 요구됨
- (목적) 재난정보를 수집·분석하여 데이터 기반의 재해재난 대응 서비스 제공을 목표로, 재해재난(수해, 도시홍수, 폭염) 안전 기술, 안전플랫폼, 도시안전 모바일 앱 개발을 통해 대구시 실증을 목표로 함

주요 연구내용

- 재난 센서 데이터를 실시간 수집·공유·전파 할 수 있는 안전플랫폼과 도시안전 모바일 앱 개발
- 안전플랫폼과 센서 데이터, 데이터허브, 도시안전 모바일 앱 간의 연동을 위한 인터페이스 개발
- 경사지 붕괴 예·경보 서비스, 도시홍수 상황인지 서비스, 폭염 저감 서비스 개발로 시민 안전 기술 제공

기술적 차별성

- 도시안전 분야의 다양한 서비스로부터 데이터 수집·공유·전파를 특징으로 하는 플랫폼 기술
- 재해재난별 최적화된 측정 기술로 차별화된 능동적 대응 서비스 제공
- 경사지, 도시홍수, 폭염 데이터를 실시간으로 수집하는 특화된 인터페이스와 API 제공으로 데이터허브와 같은 다양한 시스템과 연동 가능

기대효과

- 분산된 재난 정보를 통합 수집하여 안전플랫폼에서 공유 및 전파 가능
- 도시안전 모바일 앱을 통해 위치 정보 기반 정보 제공으로 시민의 능동적 대응 지원

참여기관

[주관] LH 한국토지주택공사
 [공동] KAIST
 HECORCA Hydrology Engineering & Consulting Center, Korea Inc.
 nexmore
 경북 한밭대학교
 충북대학교
 KOREA UNIVERSITY

[위탁] SK telecom
 ONPOOM
 UB
 주식회사 이도
 KCT
 PLANTASSET Engineering to O&M
 U&E
 IoT Solution

실증경과 및 결과

- 안전플랫폼 실증경과 및 결과
 - 연구개발 2단계('20~'21)에서 기능 테스트와 시연을 실시하고, 3단계('22)에서 안전플랫폼 개발성과 확인
- 단위 서비스별 실증경과 및 결과
 - (경사지 붕괴 예·경보 서비스) 대구시 전역에 센서 미설치 지역 21개소와 센서 설치 지역 2개소를 선정하여 경사지 붕괴예보/경보 실증을 진행함. '18~'19 발생한 산사태 대상 검증 정확도 80% 달성
 - (도시홍수 상황인지 서비스) 대구시 침수피해를 유발하였던 2002년 호우(135.5mm)를 대상으로 기왕 침수 지역과 침수예상 지점 예측결과와의 비교 검증
 - (폭염 저감 서비스) 폭염저감장치와 센서를 통해 수집된 기상 정보를 기반으로 제어기기와의 연동을 통해 실증지역 내 온도저감률 10% 달성, 이용자의 서비스 만족도 80% 달성함

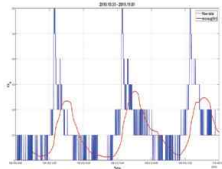
실증 대상지



단위서비스 및 요소기술

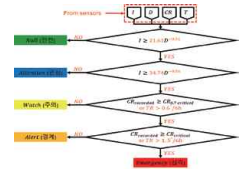
경사지 센서 정보 생산

- 이동평균 및 온도보정을 적용한 데이터 필터링



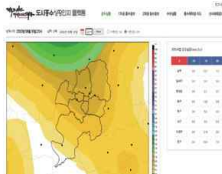
경사지 붕괴예보/경보 알고리즘

- 지반물성 및 센서 데이터 기반 알고리즘을 통한예보/경보 정보 도출



실황 및 예측 강우 정보 제공 서비스

- 대구시 자치구별 강우실황 및 예측강우량 정보 제공 (실황, 1~3시간 예측 강우량)



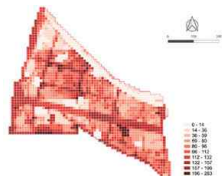
하천수위 실황정보 제공

- 주요 하천 수위표 지점 수위 및 홍수예경보 정보 표출 (홍수통제소 자료 연계)



폭염 취약성 분석

- 효율적 폭염저감 서비스 제공을 위해 폭염 위험도 우선순위 설정



폭염저감 최적화

- 시뮬레이션을 통한 실증지역 내 폭염저감장치의 최적화 배치안 제시



실증을 통한 시사점

- 경사지 센서 전원 유선화를 진행하면서 토지소유주 이슈가 발생함. 향후 경사지 센서의 확산 또는 유지관리 시, 한전과 지자체, 토지소유주 간 협의의 필요
- 정확한 침수 예측 정보 생산을 위해서는 도시유출모형의 검, 보정을 위한 우수관로 수위 관측망의 추가적 확보가 필요하나 비용, 유지관리 측면에서 한계가 있으므로 이에 극복 방안 마련 필요
- 폭염저감장치의 지속적 운영을 통해 발생하는 문제점에 대하여 제시한 설계기준의 미비점에 대한 개선이 필요하며 이에 대한 제도적 장치 마련 필요

타 지자체 확산방안

- 접근이 용이한 경사지 선정 및 물성 조사 가이드라인을 제공함으로써 타지역의 경사지에도 본 과제에서 개발한 경사지 붕괴 알고리즘을 적용시킬 수 있음
- 실황, 예측 기상 자료 생산 및 1, 2차원 침수예측 기술을 연계한 도시홍수 상황인지 서비스를 안전플랫폼을 통해 대구시에 실증하였으며 실증데이터를 확장하여 대구시 전역으로 서비스 확대 적용 가능
- 폭염저감장치 및 운영관리 시스템을 이관하고 도시재생센터 및 도시재생과 등 지자체 유관부서에 관리 교육을 통해 전문성을 강화하여 광역적 연계 확산 가능



연구책임자
 LH 토지주택연구원
 이정민 수석연구원
 andrew4502@lh.or.kr



집필자
 ㈜넥스모어시스템즈
 전진혁 부장
 jinhyuk.jeon@nexmore.co.kr



담당자(문의처)
 LH 토지주택연구원
 박인건 연구원
 ingun@lh.or.kr

• 목차 •

제1장 **개요**

- 1. 배경 및 필요성 117
- 2. 서비스 특징 121
- 3. 기대 효과 123
- 4. KPI 설정 125

제2장 **연구 개발 성과**

- 1. 도메인 통합 시나리오 128
- 2. 아키텍처 129
- 3. 단위 서비스(기능)별 시나리오 130
- 4. 요소 기술 136

제3장 **실증 경과**

- 1. 실증 체계 149
- 2. 실증 대상 150
- 3. 실증 경과 151
- 4. 실증 결과 153

제4장 **확산 방안**

- 1. 운영 방안 (안) 155

제5장 **Lesson Learned**

- 1. 문제 해결 사례 157
- 2. 기술적 한계 158
- 3. 거버넌스 관련 159
- 4. 이관 과정의 시사점 160

•  용어 정리 •

용어	정의
(나노)미스트	물 등의 액체를 0.5mm 이하의 노즐을 통해 미세한 입자크기로 분사하는 장치
IT 플랫폼	ICT기술을 기반으로 연관된 서비스를 통합하여 제공하기 위한 서비스 운영 기반 환경
강우 기간	비가 오기 시작하여 그칠 때까지의 시간을 말하며 24시간 이상 비가 오지 않은 기간은 제외
강우 레이더	안테나에서 전파를 발사하여 비, 눈, 우박 등의 기상 목표물에 부딪혀 되 돌아오는 반사파 신호를 분석하여, 강우대의 위치, 발달, 분포와 이동방향, 강수량 등을 관측하는 장비
강우강도	연속 강우량을 강우 기간으로 나누어 표현한 단위 시간당 강우량
기상관측	기상 현상을 과학적 방법으로 관찰, 측정하는 것
맨홀	하수관 내의 점검이나 청소, 파이프의 연결이나 접합을 위해 사람이 출입하는 시설을 말한다. 관로에서는 기점, 합류점, 관의 지름/방향/구배가 변하는 곳이라든가 긴 관로의 중간점 등에 설치
방재기상관측	지진/태풍/홍수/가뭄 등 기상현상에 따른 자연재해를 막기 위해 실시하는 지상관측을 말하며 관측 공백 해소 및 국지적인 기상 현상을 파악하기 위하여 전국 약 510여 지점에 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 자동으로 관측(Automatic Weather System; AWS)
빗물펌프장	자연배수만으로는 불충분하거나 불가능한 경우에 배수펌프를 설치하여 배수하기 위하여 설치된 펌프장
시뮬레이션	실제 현실에서 실행하기 어려운 실험을 컴퓨터 등을 통해 행하는 모의 실험
연속 강우량	강우 기간 동안의 강우량을 모두 더한 누적강우량
열화상 드론	열을 추적 및 탐지하여 화면으로 보여주는 열화상 카메라를 탑재한 무인비행장치

용어	정의
우수관로	건물 주위로 떨어진 빗물이 도로로 흘러지지 않도록 집 주변의 빗물이 흘러가는 통로
월류량	호우에 의해 관로가 만관되어 지표면으로 넘쳐 나오는 물의 양
웨더스테이션	기온, 강수량, 풍향, 풍속, 습도 등의 기상 요소를 관측하는 장치 (Weather Station)
유량	단위시간에 통과하는 물의 양
이동평균	일정한 크기의 구간을 옮겨가며 평균을 구하여 추세를 알 수 있도록 하는 방법
인터페이스	서로 다른 시스템, 장치들 간에 정보를 주고받기 위한 기술(Interface)
임계 연속 강우량	사면이 역학적으로 불안정한 상태에 도달하게 되는 최소 연속 강우량
전산유체역학	유체 흐름, 열전도 등의 물리적 현상을 컴퓨터를 활용해 과학적으로 계산하고 해를 구하여 관련된 현상을 예측하는 과학적 방법
종관기상관측	종관규모(공간 규모가 100~1만km이며, 시간 규모는 짧게는 1일, 길게는 1주일 이상)의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측(ASOS)
침수	홍수, 지반침강, 해수면 상승 등으로 인하여 지면이 물속에 잠기는 것
쿨링포그	인체가 젖지 않는 정도의 미세한 물 입자를 분사하여 기화열을 이용해 주변 온도를 낮춰주는 구조물

• 표 목차 •

〈표 1-1〉 수재해 KPI 설정	125
〈표 1-2〉 폭염 KPI 설정	126
〈표 1-3〉 서비스 만족도 KPI 설정	127
〈표 2-1〉 시뮬레이션 검증 결과	147

· 그림 목차 ·

〈그림 1-1〉 안전플랫폼 개념도	118
〈그림 1-2〉 스마트시티 안전플랫폼 및 재해재난 서비스의 필요성 (2018, LH)	119
〈그림 1-3〉 안전플랫폼 기대효과	123
〈그림 2-1〉 안전플랫폼 통합 시나리오	128
〈그림 2-2〉 안전플랫폼 아키텍처	129
〈그림 2-3〉 센서 미계측 지점예보/경보 알고리즘	131
〈그림 2-4〉 센서 계측 지점예보/경보 알고리즘	132
〈그림 2-5〉 안전플랫폼에 탑재된 도시홍수 상황인지 서비스	133
〈그림 2-6〉 도시홍수 상황인지 주요 시나리오 (방재학회지, 2019)	134
〈그림 2-7〉 경사지 붕괴 예·경보 서비스 인터페이스	136
〈그림 2-8〉 도시홍수 상황인지 서비스 인터페이스	137
〈그림 2-9〉 폭염 저감 서비스 인터페이스	137
〈그림 2-10〉 경사지 센서 모식도	138
〈그림 2-11〉 경사지 센서 위치	138
〈그림 2-12〉 이동평균 예시	139
〈그림 2-13〉 온도보정 예시	139
〈그림 2-14〉 경사지 붕괴 예/경보 안전 플랫폼	140
〈그림 2-15〉 도시홍수 상황인지 서비스의 주요 요소 기술 (방재학회지, 2019)	141
〈그림 2-16〉 취약성 분석 결과 (좌: 기후 노출, 우: 민감도)	142
〈그림 2-17〉 취약성 분석 결과 (좌: 적응 능력, 우: 폭염 취약성 종합)	142
〈그림 2-18〉 환경 센서(좌)와 폭염 저감 장치 제어기기 설치(우)	143
〈그림 2-19〉 폭염 저감 장치 제어 흐름도 (좌: 정지 시, 우: 운영 시)	144
〈그림 2-20〉 폭염 저감 시설의 설계를 위한 실내외 실험	145
〈그림 2-21〉 실증지역 모니터링과 열화상 드론 영상	146
〈그림 2-22〉 폭염 측정 데이터	146
〈그림 2-23〉 폭염저감시설 최적화 설계 과정 : 온도저감효과	147
〈그림 2-24〉 폭염저감시설 최적화 설계 과정 : 상대 습도	148
〈그림 2-25〉 온도저감효과 분석	148
〈그림 3-1〉 안전플랫폼 및 재해재난 서비스 실증 대상	150
〈그림 3-2〉 안전플랫폼 및 재해재난 서비스 실증 경과	151
〈그림 3-3〉 폭염 저감 서비스 운영관리시스템	154

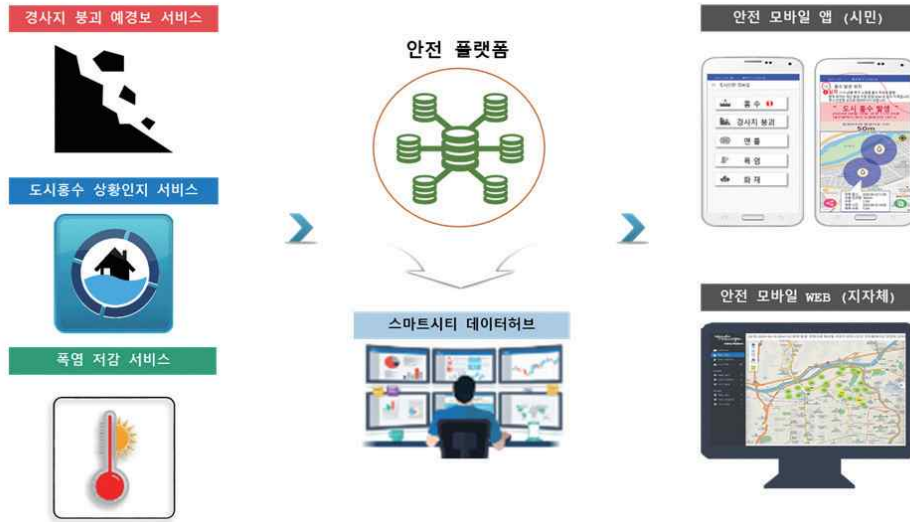
1 | 배경 및 필요성

1-1 안전플랫폼 배경

- 대구광역시는 지난 2012년 60년 만의 기록적인 폭설로 시내 곳곳에서 차량사고가 발생했고, 2016년에는 70mm가량의 폭우로 인동촌 일대 주택과 상가가 침수되는 등 예상치 못한 기후변화로 인해 대형/복합 재난이 발생하고 있는 지역이다.
- 특히 2016년 기준 재해 유형별 피해복구비용 가운데 호우의 비중이 높아 심층 관리가 필요하나, 호우에 취약한 급경사지가 접근성이 떨어지는 지역에 집중되어있어 대응에 어려움을 겪고 있다.
- 대구광역시는 스마트 재난안전대책본부 시스템을 구축 운영하여 재해재난에 대응하고 있지만 재난유형별 상황관리기능이 부서별로 분산 운영되고 있어 유기적인 재난 대응이 어렵다. 또 중앙부처 중심 재난경보체계 운영으로 재난 알림 효율성이 저하되어 신속한 재난 대응에 한계가 있다.
- 따라서 재난 관련 데이터 통합 연동으로 신속한 대응이 가능하게 하는, 재해재난 관련 지역에 특화된 경보 기능을 갖춘 안전플랫폼을 구축하게 되었다. 안전플랫폼은 대구광역시에서 발생하는 재해재난 중 중요도가 높은 경사지 붕괴 예/경보 서비스, 도시홍수 상황인지 서비스, 폭염 저감 서비스 등 재해재난 대응 서비스를 제공한다.
- 테크니컬 리포트에서는 안전플랫폼의 수집부터 경보 전파까지 과정에 대해 상세히 기술한다.

안전플랫폼 개념도

✓ 분산된 재난 정보를 통합·공유 하기 위한 플랫폼을 구축하여 안전 관련 컨트롤타워 기능 강화 도모



〈그림 1-1〉 안전플랫폼 개념도

○ 데이터 수집을 위해 취약지역에 경사지 감지/수위/폭염 센서를 설치하고, 중앙 및 각 부서 유관기관과 데이터를 연동해 재해재난 데이터를 실시간으로 수집한다. 수집된 데이터는 데이터허브와 공유되고 구호부서 및 재난상황실과 연계해 실시간 모니터링되며, 재난 상황단계가 변경되어 경보 전파가 필요하면 도시안전 모바일 앱을 통해 시민들에게 상황을 전파한다.

○ 경사지 붕괴 예/경보 서비스

– 산림청 (산사태 정보 시스템, 2022) 자료에 의하면, 토석류 및 급경사지 붕괴와 같은 산사태 재해가 2005년부터 2020년까지 대략 5,400ha의 면적에서 발생하였으며 이로 인한 인명/재산 피해가 꾸준히 발생하고 있다. 또한 최근 기후변화 및 극한강우 현상의 심화와 함께 국내 경사지 붕괴로 인한 재해 빈도가 높아지고 있으며, 피해 범위 및 규모도 대형화되고 있는 실정이다.

○ 도시홍수 상황인지 서비스

– 기후변화는 재난 측면에서 관리되어야 할 정도로 심각성이 증대되고 있으며, 미래 인류를 위협하는 가장 중요한 요인 중 하나로 부각되고 있다.

- 기후변화 관련 자료들을 빅데이터를 활용하여 분석한 결과 기후변화로 위험성이 증가할 미래 재난 재해 유형으로 1위 홍수: 18.6%(도심 침수), 2위 태풍: 17.2%(기반시설 마비), 3위 감염병: 16.7%(호흡기 감염병), 4위 폭염: 14.9%(대규모 초과 사망자), 5위 가뭄: 11.1%(식수난 및 용수 부족) 순으로 전망되었다(행정안전부, 2021).
- 이처럼 기후 위기에 따른 자연 재난을 극복하기 위하여 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트에서는 도시 수요 기반 중 자연 재해 분야와 관련하여 ‘데이터 공유를 통한 도시 재해재난 안전 및 사회안전 긴급구난 기술개발’을 추진하였다.
- 또한 통합형 데이터허브와 연계하여 운영하는 안전플랫폼을 개발하고 수재해(도시홍수, 경사지붕괴), 폭염 등 다양한 재해재난 관련 서비스를 제공하고 있다. 아울러 개발한 시스템의 주요 서비스는 단위 지자체별 맞춤형 서비스로 확산하기 위해 노력하고 있다.

○ 폭염 대응 서비스

- 최근 범지구적 기후변화로 인한 이상 기후 현상으로 자연재해의 빈도가 증가하고 있다. 이와 더불어 세계 각국의 도시는 급격한 도시화로 인해 자연지역은 감소하고 인공지역이 증가함에 따라 도시 내에 축적되는 열량이 증가하는 추세다.
- 도시의 극한 기후 현상으로 인한 폭염의 강도 및 빈도가 최근 점진적으로 증가함에 따라 그로 인한 국내 온열질환 사망자 수는 2000년 이후 급증했다.
- 통계청 자료에 따르면 실증지역인 대구광역시의 경우 '12~'18 표준 온열질환자 수 (I.e. 인구 백만 명당 온열질환자 수)가 전국 특별/광역시 중 가장 높음을 보여주었으며 폭염에 대응하는 방안이 필요한 지역이다.

1-2 안전플랫폼 필요성



〈그림 1-2〉 스마트시티 안전플랫폼 및 재해재난 서비스의 필요성 (2018, LH)

- 국내에서는 재난에 대응하기 위해 부처 간 협업을 통해 대책을 수립하고 있다. 그러나 현존하는 대책들은 정부기관 중심의 하향식 방식으로 시민들이 현장에서 겪는 재난피해 현황과 수요를 즉각적으로 반영하지 못한다는 한계가 있다. 시민 수요 기반의 상향식 방식 서비스를 제공할 수 있는 정책이 필요한 상황이며, 경사지 붕괴 예/경보 서비스, 도시홍수 상황인지 서비스 및 폭염 저감 서비스 제공을 위해 IoT 기술을 활용한 효과적인 시민 체감형 조기경보 대응 기술 개발이 필요하다.

○ 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 급경사지 붕괴의 경우, 발생 지점과 피해 규모에 대한 정확한 예측이 어렵기 때문에 예/경보 서비스를 통한 재난피해 저감 및 선제적 대응 방안이 필요하다.

○ 도시홍수 상황인지 서비스

- 자연재난 대응을 위해 우리나라에서 개발된 다양한 기술들은 공급자 중심의 정보 제공방식으로 인한 시민 체감 부족, 인프라 건설 위주의 사업화 진행 및 사후 운영 관리 방안 부재 등 다양한 문제점들이 존재한다.

- 수재해(도시홍수, 경사지 붕괴), 폭염과 같은 자연재난은 발생 빈도는 적으나 위험성이 매우 크므로 선제 대응이 필요하며, 재난 상황에 대한 신속한 대응을 위해서는 실황 모니터링 및 자연재난 예측 기술을 실시간 스마트 기술과 연결하고 이와 연계되는 다양한 서비스를 제공할 필요가 있다.

○ 폭염 대응 서비스

- 현재 국내 폭염 관련 특보는 주의보(I.e. 일 최고기온 섭씨 33도 이상인 상태가 2일 이상 지속될 때), 경보(일 최고기온 섭씨 35도 이상인 상태가 2일 이상 지속될 때) 두 가지밖에 존재하지 않아 이는 폭염 기준을 마련하는 데 한계가 있다.

- 또한 국내에 도입되고 있는 폭염 저감 장치들을 살펴봤을 때, 가로수, 그늘막, 쉼터 등의 조경시설물과 최근 도입되고 있는 쿨링포그 등이 있었다.

- 조경시설물의 경우 설치장소에 대해 제약이 있고 실질적 폭염 저감 효과는 미흡하였으며, 쿨링포그의 경우 폭염 저감 효과는 양호하였지만 합리적인 기준 없이 도입되었고 제어적 측면에서 한계가 있었다.

- 국내 온열질환으로 인한 시민 건강 부문의 피해가증가함에 따라 폭염 취약 공간에 대한 정의와 정량적 기준의 제시를 통해 피해 예/경보 체계 구축이 필요하다. 또한 기존 폭염 저감 장치들의 한계점들을 해소하고 온열질환자 수의 감소를 위해 보행자 중심의 능동적 제어체계를 동반한 폭염 저감 장치가 필요하다.

2 | 서비스 특징

2-1 안전플랫폼 서비스 특징

- 안전플랫폼은 도시안전분야의 다양한 서비스로부터 데이터 수집/공유/전파를 특징으로 하는 새로운 플랫폼을 제시하고, 재해재난 유형별 위치 최적화로 시민의 능동적 대응을 지원한다. 또한 지자체 내 각종 안전서비스 및 행정안정부, 재난안전망 등과의 연계를 통해 확산하여 다양한 예측정보를 제공할 수 있어 안전 서비스 제공의 핵심 역할을 담당한다.
- 경사지 붕괴 예/경보 서비스
 - 급경사지 붕괴 모니터링 및 예측 상황인지 서비스는 대구광역시 주요 산사태 예상 지점에 대한 지반 물성 조사를 통해 센서 기반 예측 2개 지점, 강우데이터 기반 위험도 평가 및 예측 21개 지점에 대한 급경사지 붕괴 예측 서비스를 제공하고 있다.
 - 서비스에서 생산되는 붕괴 예측 정보는 ‘안전-관심-주의-경계-심각’의 5단계 상황별 위험도 평가 결과로 표출된다.
 - 강우자료(강우기간, 연속 강우량, 강우강도) 및 임계 연속 강우량을 변수로 사용하는 센서 미설치 지역(21개소)에 대한 경사지 붕괴 알고리즘을 통해 예/경보 결과(안전-관심-주의-경계-심각)를 시민들에게 생산 및 제공한다. 센서 설치 지역(2개소)의 경우, 강우자료, 임계 연속 강우량 및 경사지 센서의 기울기 변화량을 고려한 알고리즘을 적용하여 예/경보 결과를 생성 및 제공한다.
 - 경사지 센서의 데이터를 분석하였을 때, 온도가 올라감에 따라 기울기도 증가하는 경향이 관찰되었다. 따라서, 온도에 비례하는 영향을 없애기 위해 상온 20°C에 해당하는 기울기를 대푯값으로 선정하는 온도보정을 적용하였다. 또한, 센서 데이터의 노이즈를 제거하기 위해 이동평균을 적용하여 경사도 변화를 산정하였다.
- 도시홍수 상황인지 서비스
 - 도시홍수 상황인지 서비스는 기상청에서 운영하고 있는 실시간 강수 자료와 연구진에서 개발한 예측 강수량 자료를 바탕으로 이와 매칭되는 지점별 1차원 침수 예측 정보(우수관로, 맨홀의 수심, 월류량), 2차원 침수 예측정보(침수심, 침수면적)를 생산하고 상황별 홍수 예/경보 정보 형태로 시민들에게 제공하는 서비스이다.

- 자연재난 대응을 위해 엄밀한 침수 상황 정보 제공을 위해 홍수 취약지역의 우수관로, 빗물펌프장에 수위관측 장비를 설치하고 이를 통해 수집되는 실시간 수위 정보 및 홍수 예/경보 정보를 시민들에게 제공하고 있다. 추가 서비스로 대구광역시 전역에 대한 홍수취약성 지도, 하천홍수위

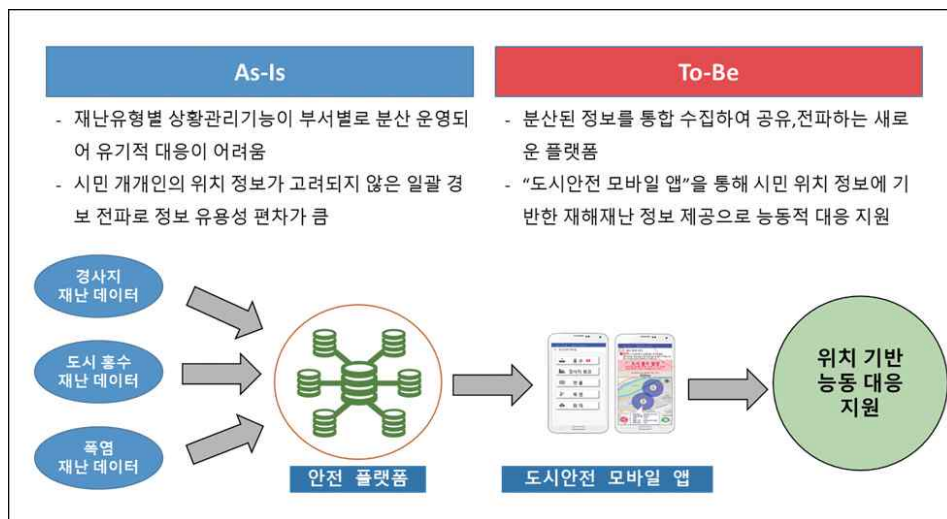
○ 폭염 대응 서비스

- 지역 맞춤형 시민 대응 체계 구축을 위한 상세 공간 단위 열 취약성 정보 제공
 - 해상도 10m의 그리드를 기반으로 폭염취약성의 기후 노출, 민감도 그리고 적응 능력 부문에 해당하는 데이터를 수집/가공 및 분석하여 상세 공간 단위별 취약성을 도출하였다. 기후노출 부문의 경우, 폭염일수, 열대야일수, 도로 및 건물과 관련된 자료를 분석에 활용하였다. 민감도 부문의 경우, 영유아 및 노인층과 같은 취약계층, 노후 건축물 정보 및 단독주택 지붕 정보와 관련된 정보를 활용해 분석했다.
 - 적응능력 부문의 경우, 녹지, 무더위쉼터 및 의료기관과 관련된 자료를 분석에 활용했다. 세 가지 부문의 자료를 종합하여 최종 종합 폭염 취약성을 대상지역을 추출하여 종합 취약성 지도를 그리고, 같이 도출된 10등급 구분단계를 최종 결과로 제안했다. 등급의 경우 분석의 도구로 도입한 QGIS에 내장된 기능인 최적 중심화 구분법을 활용하여 이용자들이 쉽게 이해할 수 있도록 그룹을 구분하였다.
- 폭염 저감을 위한 저감 장치 설계 매뉴얼 제공
 - 폭염 저감 장치를 설계함에 있어 설치장소의 지형과 조경공간을 고려하여 장치 조성 공간의 지속가능성을 높였고, 이용하는 시민들의 만족도 상승을 유도하였다. 또한 운영방식을 세분화하여 다양한 시설물의 구조에 맞게 적용되도록 하였다.
 - 사용된 폭염 저감 장치에서 물 입자가 분사되어 더운 공기와 만나면 기화하면서 열을 낮추게 되는데, 이때 수자원의 활용이 필연적이다. 본 가로등 형태의 폭염 저감 장치는 상부(나노미스트)의 경우 급수를 활용하여 미스트 분사에 이용하며, 하부의 경우 빗물을 이용하여 효율적인 수자원의 활용을 도모해 온도 저감을 유도하였다.
 - 또한 폭염 저감 장치의 온도저감효과 및 상대습도의 변화를 모니터링하고 검증하기 위해 웨더스테이션, 열화상 드론을 통해 측정된 데이터, 그리고 이를 기반으로 한 시뮬레이션 데이터 사이에 교차 검증하였다.

3 | 기대 효과

3-1 안전플랫폼 기대효과

- 기존에는 재난유형별로 대응 부서가 각각 분산되어 있어 재난 발생 시 유기적인 대응이 어려운 문제점이 존재했다. 안전플랫폼은 분산되어 있는 데이터를 하나로 모아 수집하기 때문에 통합하여 데이터를 분석, 파악할 수 있다. 따라서 부서 간 유기적인 대응이 가능하며, 시민의 입장에서는 그동안 개인의 위치와 관계없이 일괄적인 재난 전파 방식으로 개개인에 따라 정보가 큰 도움이 안 될 수 있었지만, 도시안전 모바일 앱은 시민의 현재 위치 정보를 기반으로 하여 최적화된 정보를 제공해주므로 개인에게 매우 유용한 정보 제공과 능동적 대응이 가능하다.



〈그림 1-3〉 안전플랫폼 기대효과

- 안전플랫폼을 통해 신속한 대응이 가능해짐에 따라 재난으로 인한 피해를 저감할 수 있는 경제적 효과를 기대할 수 있으며 경사지 붕괴 위험인자 데이터 정제 기술을 확보할 수 있다. 또한, IoT 기반으로 실시간 수집되는 경사지 붕괴 위험인자 데이터를 논리적 관계, 데이터의 상호 연관성 등을 고려한 필터링 및 데이터 처리 기술은 교통, 기상 등의 다양한 분야에 적용이 가능할 것이다.

- 수재해 상황인지 서비스(도시홍수, 경사지 붕괴)는 재난 발생 단계인 관심-주의-경계-심각의 단계별 수재해 예/경보 정보를 생산한다. 그리고 데이터허브와 연계하여 실시간 사용자 분석을 통한 지역 맞춤형 수재해 대응 정보를 제공하는 서비스를 통해 전국 단위 지자체로 확대 보급한다. 이를 통해 국가 자연재난 대응의 체계를 업그레이드할 수 있는 안전 분야 기반기술이라 할 수 있다.
- 연구에서 개발한 도시홍수 상황인지 서비스는 기존 강우 규모에 따라 제작된 홍수 지도, 강우 빈도에 근거해서 제작된 재해지도 등 지도기반 서비스의 한계를 뛰어넘어 호우 실황 및 예측정보 생산 데이터와 연동한 침수대응 서비스를 제공하고 있다.
- 급경사지 모니터링 및 예측정보 제공 서비스는 전력 공급 및 통신을 위한 케이블 매설로 유지관리에 어려움이 있었던 기존 모니터링 체계를 개선하여 무선통신 기반 복합 센서를 이용한 급경사지 붕괴위험 예측이 가능해졌으며 강우자료에 기반한 도시 단위 실시간 급경사지 붕괴 분석 정보를 추가로 제공하고 있다.
- 수재해 예/경보 서비스의 경우 기존 읍/면/동 단위 정보 제공으로 실제 재난과 관계 없는 시민들에게도 불필요한 정보가 전파되었던 상황 전파 방법을 세그먼트 생성을 통한 반경 100m 단위 예/경보가 되도록 하였다. 이를 통해 시민들에게 효율적 정보 제공을 한다.
- 폭염 저감 서비스는 대상지역 내 폭염 저감에 앞서 공간단위별 취약성 현황정보를 기반으로 도시 내 상세 지역별 맞춤형 위험도를 제공한다. 지역별 차별화된 정보 제공이 가능해짐에 따라 보다 신속하고 정확한 대응이 가능한 대응 체계 구축이 가능할 것이라 기대한다.
- 또한 새로운 형태의 폭염 저감 장치를 구축하고 이를 지속적으로 운영하고 대상지역 외에 다양한 지역에 적용이 가능하도록 운영 매뉴얼을 개발하였다. 지역별 상황에 따라 적절히 보안을 통해 의사결정자들이 쉽게 적용 가능하며, 폭염 저감 장치의 도입을 계획하는 데 있어 온도, 습도 조절에 대한 기초자료로써 활용될 것이다. 궁극적으로 적용 지역 내 폭염으로 인한 인명 피해를 줄일 수 있을 것이라 기대한다.

4 | KPI 설정

4-1 수재해 발생 선제적 상황인지와 예/경보를 통한 시민 대피 시간 확보

- 자연재난의 경우, 한번 발생하면 피해가 매우 크므로 재난 발생 이전 사전 인지 및 예/경보가 매우 중요하다. 따라서 실황 및 1~3시간 예측 기상정보와 연계한 도시 침수 및 경사지 붕괴 예/경보 정보를 제공함으로써 궁극적으로 수재해로 인한 인명 및 재산 피해를 20% 이상 경감하는 것이 목표이다.
- 목표의 달성을 위해 도시홍수, 경사지 붕괴 발생 이전 위험에 대한 예/경보 판단정보를 선제적으로 생산하고 시민 대피시간 30분 확보하도록 하였다. 경사지 붕괴의 경우 정확한 발생 시각을 예측하거나 정의하기 어려우므로 30분 뒤의 예측 강우량을 사용했을 때예보/경보 수준이 경계, 심각이 되는 시각을 발생 시각으로 정의한다.

〈표 1-1〉 수재해 KPI 설정

지표명	산식	최종목표치	검증방안
수재해 (홍수, 경사지붕괴) 발생 선제적 상황 인지와 예보/경보를 통한 시민 대피 시간 확보	경사지 붕괴 발생 시각 - 해당 서비스 상황인지 예측 시각 > 0.5 시간 이상 홍수 발생 시각 - 해 당 서비스 상황인지 예측 시각 > 0.5시간 이상	대피시간 30분 이상 확보	기존에 발생한 홍수 및 경사지 붕괴 데이 터를 바탕으로 검증 (자연재해의 경우 과 업 기간 내 실제 상황 이 발생하지 않을 가 능성이 크므로 기존 의 데이터를 활용)

4-2 지역 맞춤형 시민 대응 체계 구축을 위한 상세 공간 단위 열 취약성 지표

- 도시는 공간 내에 존재하는 다양한 구조물 등으로 인해 태양의 일사가 불규칙적이

- 기 때문에 공간지역별로 폭염에 따른 위험도가 상이하다. 따라서 공간 데이터를 통한 취약 분석으로 폭염 취약지역 우선순위를 설정했다.
- 또한 합리적 매뉴얼 없이 운영되던 기존 폭염저감장치의 문제점을 해소하고자 취약성 분석을 기반으로 설치장소, 운영시간, 설치개수 등에 대한 정보를 제공했다. 이를 통해 대상 지역 내에 평균 온도저감과 최종적으로 폭염 저감 서비스를 취약계층에게 제공하여 폭염 사상자 피해 축소 등 대응 방안을 마련하고자 한다.
 - <표 1-2>는 다음 '4-3. 서비스 만족도'와 같이 80점 목표로 KPI를 최종 선정하였다.

〈표 1-2〉 폭염 KPI 설정

지표명	산식	최종목표치	검증방안
지역 맞춤형 시민 대응 체계 구축을 위한 상세 공간 단위 열 취약성 지표	$\frac{\Sigma(\text{기후노출부문 지표값} + \text{민감도부문 지표값})}{\Sigma(\text{적응능력부문 지표값})}$ <p>- Note: 부문별 지표의 총합을 구할 때는 지표별 상이한 단위를 고려하여 표준화된 값(minmaxnormalization)을 적용</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기후 노출 부문 : 폭염일수, 열대야 일수, 건물연면적, 도로면적 • 민감도 부문 : 영유아 & 노인 수, 노후건축물 연면적, 단독주택 지붕 면적(콘크리트, 슬래브, 슬레이트) • 적응능력 부문 : 녹지면적, 무더위쉼터 수, 의료기관 수 	상세 공간 지역 단위 (10m×10m) 공간 정보분석을 기반으로 한 폭염 취약성 1~5등급 구축 및 등급별 맞춤형 실시간 취약 현황 및 대응 전략 제공	실증지역 파일럿 테스트, 시민 설문조사 등

4-3 서비스 만족도

- 안전플랫폼은 지자체 안전 관리자 및 시민 체감형 서비스로 서비스 대상 서비스 만족도를 80점 이상 목표로 설정하였으며 분기별 이용자 및 운영자 대상 피드백을 통한 서비스 개선으로 만족도를 향상시키기 위해 노력하고 있다.
- 수재해 예/경보서비스, 폭염 대응 서비스, 긴급구난 지원 서비스 및 도시안전모바일

앱 이용에 대한 만족도 측정을 통해 수요자 중심의 취약점을 발견하고, 이용 시 불편사항 및 개선에 대한 의견을 반영할 수 있다. 또한 서비스의 문제점 개선을 통해 서비스의 질을 향상하고 향후 이용 활성화를 위한 실질적 피드백을 제공할 수 있다.

– 즉, 이용자와 운영자가 느끼는 서비스에 대한 만족도 측정은 서비스 개선 및 고도화에 활용되고, 이는 다시 서비스 이용 만족도를 높이는 선순환적인 구조가 매우 중요하다.

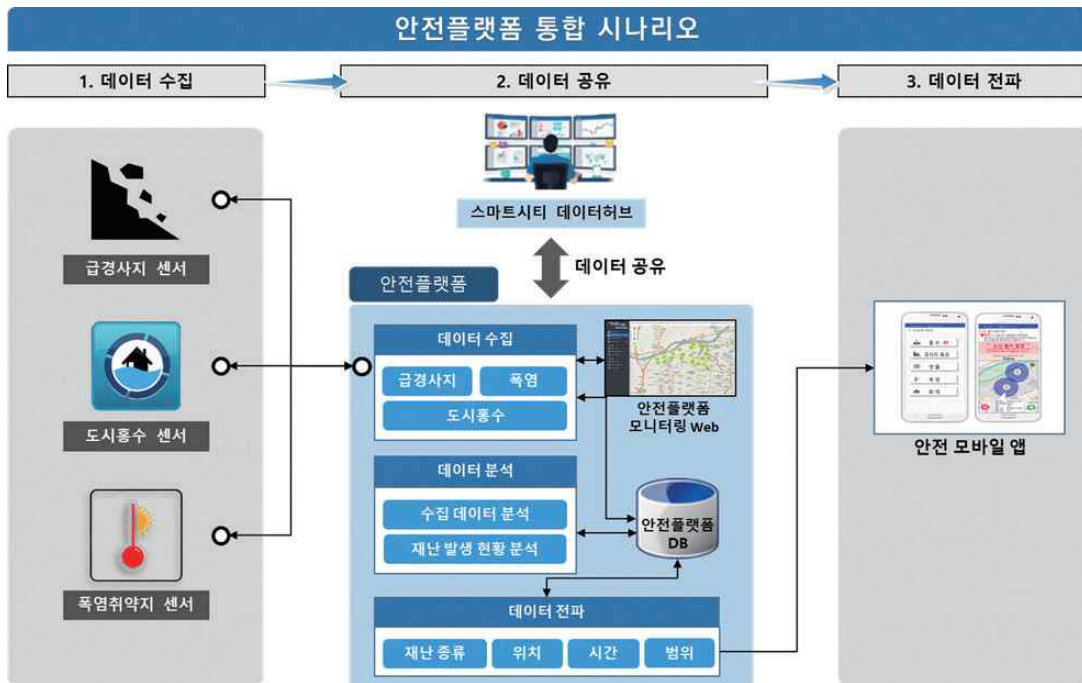
〈표 1-3〉 서비스 만족도 KPI 설정

지표명	산식	최종목표치	검증방안
서비스 만족도	$CSI = \sum_{n=1}^n \alpha_n \times \chi_n$ <ul style="list-style-type: none"> • CSI = 전반적 만족도 • χ_n = n번째 항목 만족도 • α_n = n번째 항목 중요도 	서비스 및 안전모바일앱 이용 만족도 80점 이상	서비스 운영자, 구호부서원, 도시안전모바일앱 이용자 등의 서비스 이용 만족도 측정

1 | 도메인 통합 시나리오

1-1 안전플랫폼 통합 시나리오

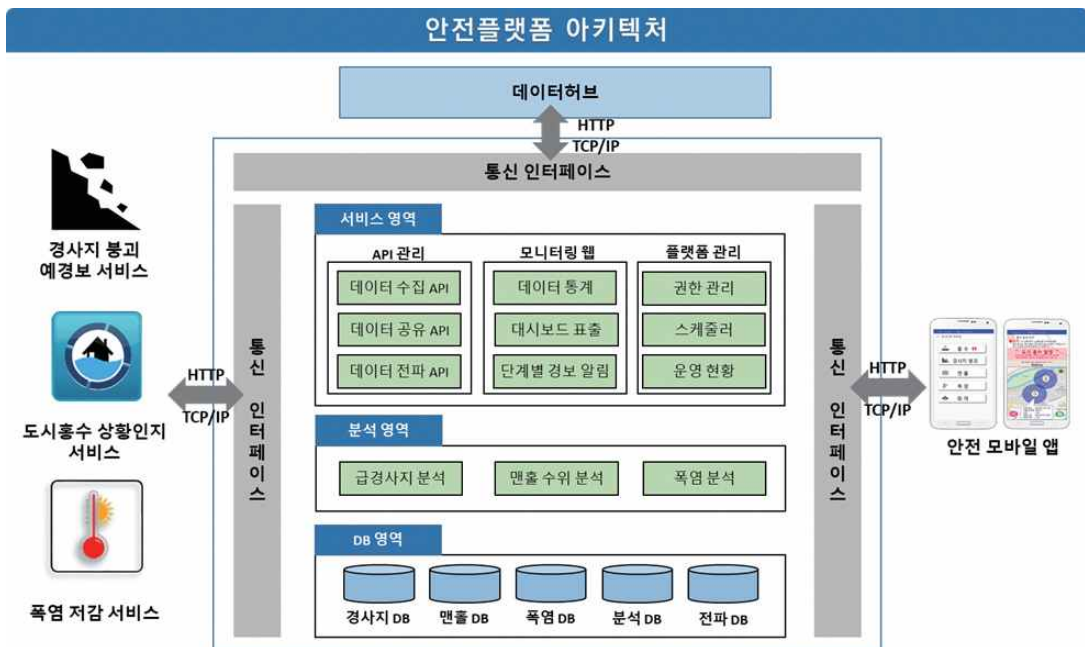
- 안전플랫폼의 주요 서비스는 도시홍수 상황인지, 경사지 붕괴 모니터링 및 예측, 폭염 서비스로 구분할 수 있으며 서비스 제공을 위한 시나리오는 '데이터 수집'-'데이터 공유'-'데이터 전파'의 3단계 정보 제공 체계로 구성되어 있다.



〈그림 2-1〉 안전플랫폼 통합 시나리오

- 데이터 수집 단계에서는 각 센서의 상태값을 실시간으로 수집하고 안전플랫폼의 수신 모듈로 전송한다. 데이터는 재해재난 특성에 따라 급경사지, 수위, 온도, 습도 등의 센서값이 사용된다.
- 데이터 공유 단계에서는 안전플랫폼으로 전송된 수집 데이터가 데이터허브와 공유되고, 분석 모듈을 통해 급경사지, 재난 발생 현황이 분석된다.
- 데이터 전파 단계에서는 분석(예측)된 정보가 구호부서 및 재난상황실과 연계되어 예/경보 상황 발생시 도시 안전 모바일 앱을 통해 시민들에게 경보 전파된다. 전파는 사용자의 위치정보를 중심으로 하여 상세 위치기반 위험 정보를 제공한다.
- 이 외에도 안전플랫폼은 통계 기능을 제공하여 데이터 통계 및 관리 기능을 제공하고, 시스템 설정 기능을 통해 안전플랫폼 시스템을 사용자가 관리할 수 있다.

2 | 아키텍처



〈그림 2-2〉 안전플랫폼 아키텍처

- 안전플랫폼 아키텍처는 정보 제공 체계(수집-공유-전파)의 흐름에 맞춰 설계되었으며 크게 외부 통신을 담당하는 인터페이스, 서비스 영역, 분석 영역, DB 영역으로 구성되어 있다.

- 인터페이스는 경사지, 도시홍수, 폭염 센서로부터 데이터를 수신하는 통신 인터페이스와 데이터 허브 공유를 위한 인터페이스, 그리고 전파 단계에서 안전 모바일 앱과 통신을 위한 인터페이스로 구성되어 있다.
- 서비스 영역은 인터페이스 통신 과정에서 사용되는 API 관리부와 모니터링 웹의 각 기능, 그리고 플랫폼 전반에 대한 권한, 수집 스케줄링, 운영 현황 관리 기능으로 구성되어 있다.
- DB 영역은 수집 단계에서 모인 각 재난 서비스별 데이터를 저장한 DB, 이를 분석한 결과가 저장되는 DB, 그리고 전파 내용, 발신 데이터 정보 등이 저장된 DB로 구성되어 있다.

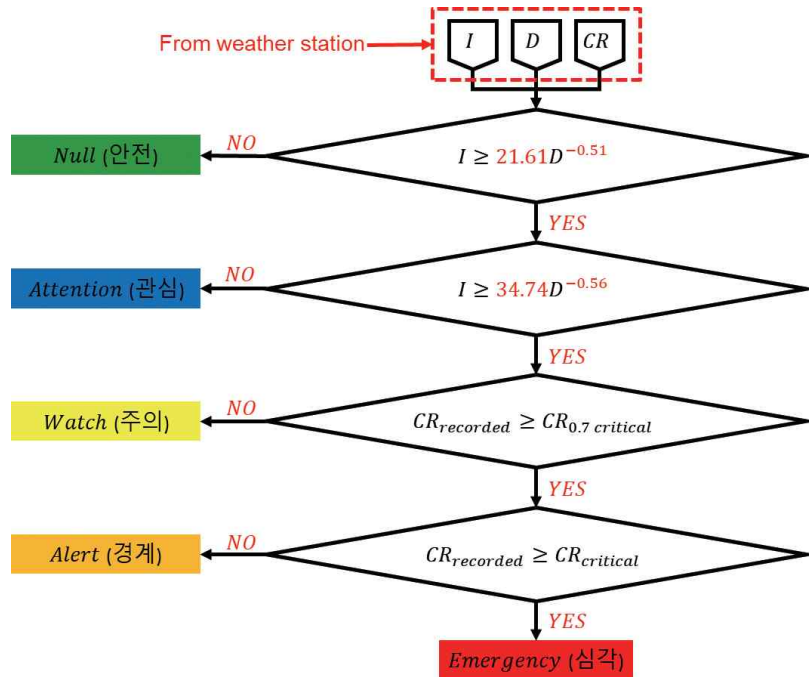
3 | 단위 서비스(기능)별 시나리오

3-1 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 대구광역시 주요 산사태 예상 지점에 대한 지반 물성 조사를 통해 센서 기반 예측 2개 지점, 강우데이터 기반 위험도 평가 및 예측 21개 지점에 대한 급경사지 붕괴 예측 서비스를 제공하고 있다.
- 강우 실황 정보 생산 및 제공
 - 지점 자동기상관측소(AWS) 실시간 자료를 기초로 강우기간(D), 연속 강우량(CR), 강우강도(I) 자료를 생산하고 생산된 정보를 공간정보 및 수치 형태로 제공한다.
- 경사지 센서 정보 생산
 - 경사지 센서로부터 x축과 y축의 기울기값과 온도를 1분 간격으로 획득한다. 획득한 데이터는 획득 시각으로부터 이전 6시간 동안의 데이터를 평균하여 관측 시점의 기울기 변화값으로 할당하는 이동평균을 적용한다. 기울기 값이 온도에 선형적으로 비례하는 영향을 제거하기 위해 각 점(이동평균이 적용된 온도, 이동평균이 적용된 기울기)을 지나는 직선의 방정식을 구한 뒤 온도가 20℃일 때의 기울기값을 해당 획득 시각의 기울기값으로 사용한다. 이를 통해 획득한 x축, y축 기울기값의 변화량을 제공하여 더한 뒤 그 값의 제곱근을 기울기 변화량으로 결정한다. 기울기 변화율(TR)은 기울기 변화량을 6시간으로 나눈 값으로 사용한다.

○ 센서 미계측 지점 예/경보 결과 생산 및 제공

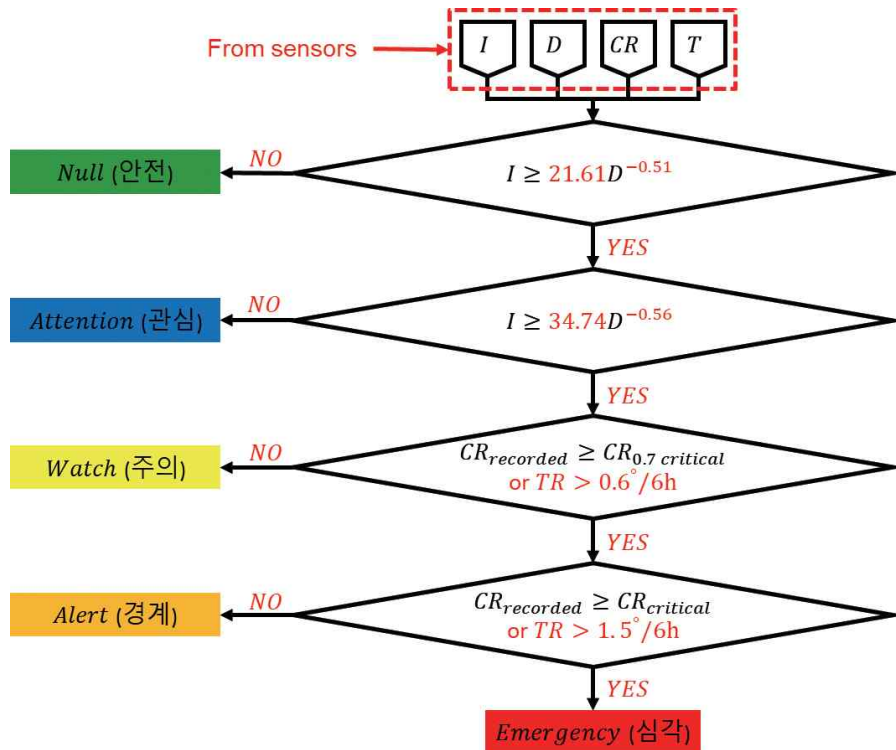
- 경사지 붕괴 알고리즘을 기반으로 10분 단위로 예/경보 결과를 생산 및 제공하며
 센서 미계측 지점의 경우 강우기간(D), 연속 강우량(CR), 강우강도(I), 현장 지반 물성
 치인 임계 연속 강우량(CRcritical) 등을 고려한다 <그림 2-3>.



<그림 2-3> 센서 미계측 지점예보/경보 알고리즘

○ 센서 계측 지점 예/경보 결과 생산 및 제공

- 경사지 붕괴 알고리즘을 기반으로 10분 단위로 예/경보 결과를 생산 및 제공하며
 센서 계측 지점의 경우, 기울기 변화율(TR), 강우기간(D), 연속 강우량(CR), 강우강도
 (I), 임계 연속 강우량(CRcritical) 등을 고려한다 (그림2-4).



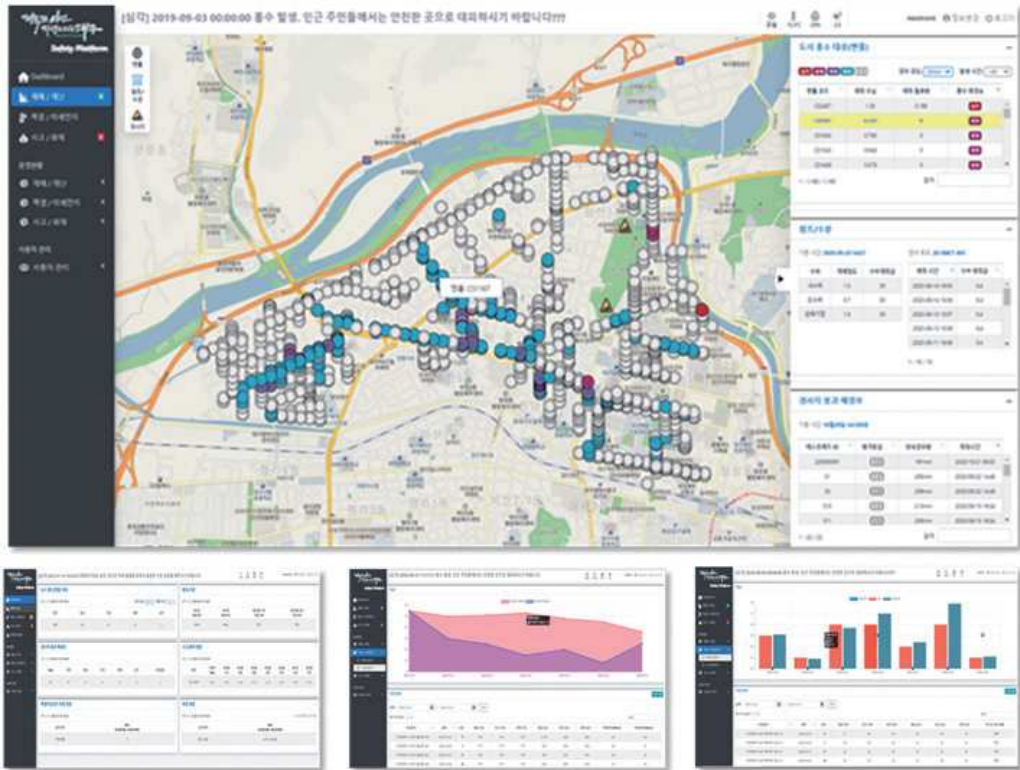
〈그림 2-4〉 센서 계측 지점예보/경보 알고리즘

3-2 도시홍수 상황인지 서비스

○ 안전플랫폼에 탑재되어 있는 도시홍수 상황인지 서비스는 기상청의 지점 및 레이더 강우 정보를 이용하여 도시홍수 상황인지 모형을 구동하며, 이를 통해 생산되는 침수예측 정보를 바탕으로 홍수예/경보 서비스를 시민들에게 제공한다. 아울러 홍수 취약 지역의 우수관로와 빗물펌프장에 수위계를 설치하고 실시간으로 수집되는 수위 정보를 제공한다. 단위 서비스 기능 제공을 위한 시나리오는 아래의 5가지 단계로 구성된다.

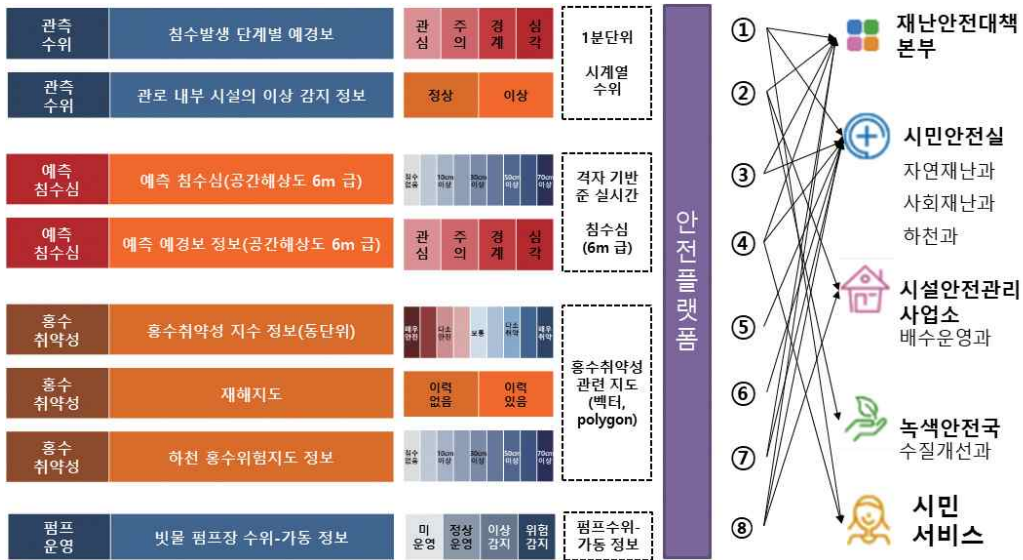
- 1. 국지성 호우, 게릴라성 호우에 대응하기 위한 기상청, 홍수통제소, 안전정보 DB 등으로부터 획득된 자료의 데이터베이스 구축
- 2. 실시간 기상관측 데이터의 분석 정보 생산 체계 구축과 실시간 수위/유량 모니터링
- 3. 도시홍수 상황인지를 위한 침수 정보 생산 체계 구축 및 예/경보 기준 마련(1차원)
- 4. 기상 시나리오 기반 침수분석 및 실시간 침수범위, 침수심 상세 분석 자료(2차원) 생산

- 5. 도시홍수 관측, 예측 정보 데이터허브 연계 적용을 통한 재난안전 서비스 제공



〈그림 2-5〉 안전플랫폼에 탑재된 도시홍수 상황인지 서비스

- 실황 및 예측 강수량 정보를 활용하여 시나리오 (30~90mm, 10mm 단위 호우 발생)에 기반한 실시간 1차원 침수예측 정보, 2차원 침수예측 정보를 제공하고 있으며, 홍수 취약지역의 우수관로, 빗물펌프장에 수위 관측 장비를 설치하고 이를 통해 수집되는 실시간 수위 정보를 표출하고 있다.



〈그림 2-6〉도시홍수 상황인지 주요 시나리오 (방재학회지, 2019)

3-3 폭염 저감 서비스

– 폭염 저감 장치를 도입함에 있어 우선순위를 설정하고 해당 지역의 기후 특성을 파악하기 위해 취약성 분석을 실시하며, 온도 및 습도 등의 정보를 수집하여 폭염 현황 데이터를 생산하였다. 또한 Massive IoT 디바이스를 통해 기존에 정해진 운영 시간 동안에만 가동되었던 폭염 저감 장치의 한계점을 해소 및 효율적으로 제어하였다. 아울러 안전플랫폼과 폭염 데이터 연동을 통해 서비스를 제공하였다. 폭염 저감 장치의 경우 온도 저감 성능을 극대화하기 위해 실내외 실험을 통한 설계를 진행하였으며 대상 지역 내에 최적화 배치안을 제시하였다.

○ 폭염 현황 데이터 생산

- 폭염 저감 장치의 효율적인 운영 및 제어를 위해 폭염 취약성 분석과 환경 데이터를 수집하였다. 공간 지역별로 다양한 도시 내 구성 요소들에 따라 폭염으로 인한 위험도가 달라질 수 있기 때문에 폭염 저감 시설의 맞춤형 도입으로 효율을 극대화하기 위하여 폭염 취약성 분석을 실시하였다.
- 취약성 분석 수행을 위하여 기후노출, 민감도 그리고 적응능력의 3가지 부문에 해당하는 10가지의 폭염 취약성과 관련된 지표들을 문헌분석을 토대로 수집하였다.

10가지 지표에 대한 데이터를 국가 공공기관 포털사이트(E.g. 기상자료 개방포털, 국토지리정보원, 환경공간서비스, 대구지도포털) 에서 수집하여 분석의 단위로 정한 10m×10m 격자로 일괄 가공하였다.

- 이를 통해 폭염 취약 등급을 도출하여 우선순위를 설정하였다. 환경 데이터의 경우 대상지역의 폭염 관련 기후 특성 파악을 위해 센서를 통해 온도, 습도, 동작 감지 등의 정보를 수집 및 생산하였다.

○ 폭염 데이터 공유 및 연동

- 나노미스트를 활용한 기존 폭염 저감 장치는 기존 설정된 운영 시간 동안 가동되어 효율성 측면에서는 한계가 있었다. 운영적 측면에서 기존 폭염 저감 장치의 단점을 보완하기 위해 취약성 정보 및 센서를 통한 데이터를 Massive IoT 폭염 저감 장치 제어기와 공유 및 연동하여 운영주기, 운영시간을 차별화하였다. 또한 데이터를 안전플랫폼과 연계하여 폭염과 관련된 데이터베이스 구축을 통한 폭염 저감 서비스를 제공하였다.

○ 폭염 저감 장치의 설계 및 최적화

- 국내 도입되고 있는 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치에 대한 운영기준이 명시되어 있지 않아 자체적 기준을 수립 및 제시하였다. 문헌분석을 토대로 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치의 온도저감효과와 관련된 인자들을 분석하였으며, 폭염 저감 장치의 온도저감효과를 극대화할 수 있도록 실내외 실험을 실시하였다.
- 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치의 온도저감효과를 모니터링하기 위해 대상지역인 인동촌 지역에 설치된 실증 시설을 사용하여 실험을 진행하였다. 모니터링은 기상관측장비와 드론을 활용한 열화상 카메라를 통해 온도, 습도, 풍향, 풍속 데이터를 수집하였다. 모니터링 데이터를 기반으로 추후 폭염 저감 장치의 최적화 및 광역적 설치 시 가이드라인의 제공을 위해 시뮬레이션 결과와의 신뢰도 검증을 진행하였다.
- 폭염 저감 시설을 도입할 시 대상지역 내 온도저감 효과를 극대화하기 위해 전산유체역학 기반의 시뮬레이션을 진행하였다. 대상지역 내에 설치하는 폭염 저감 장치의 수는 동일하지만 배치되는 형태를 다르게 시나리오를 구분하였고, 각각을 시뮬레이션 및 분석하여 최적의 설계안을 도출하였다. 또한 지반으로부터의 고도별 온도하강

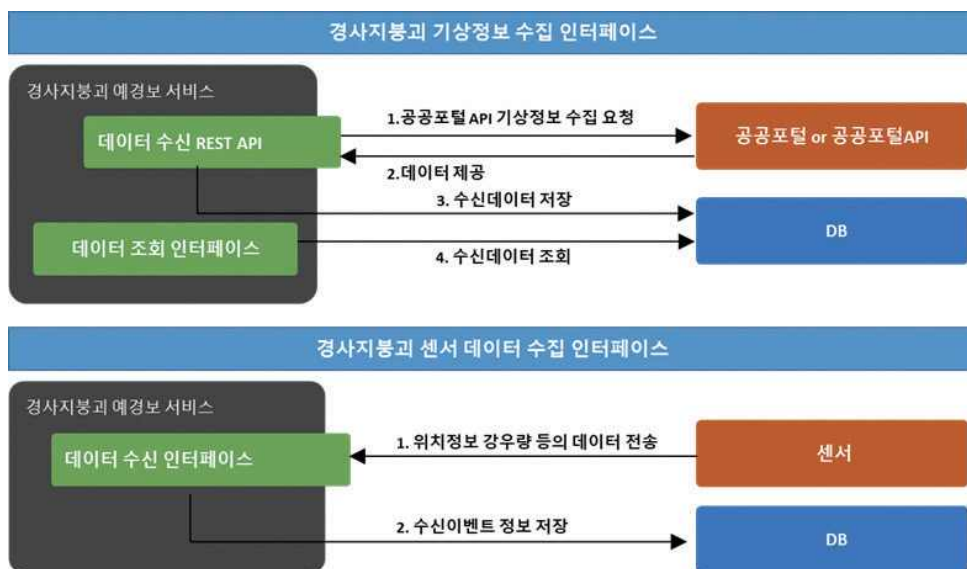
효과를 추가적으로 분석하여 취약계층을 고려한 폭염 저감 서비스를 제공하였다.

4 | 요소 기술

4-1 안전플랫폼

● 경사지 붕괴 예·경보 서비스 인터페이스

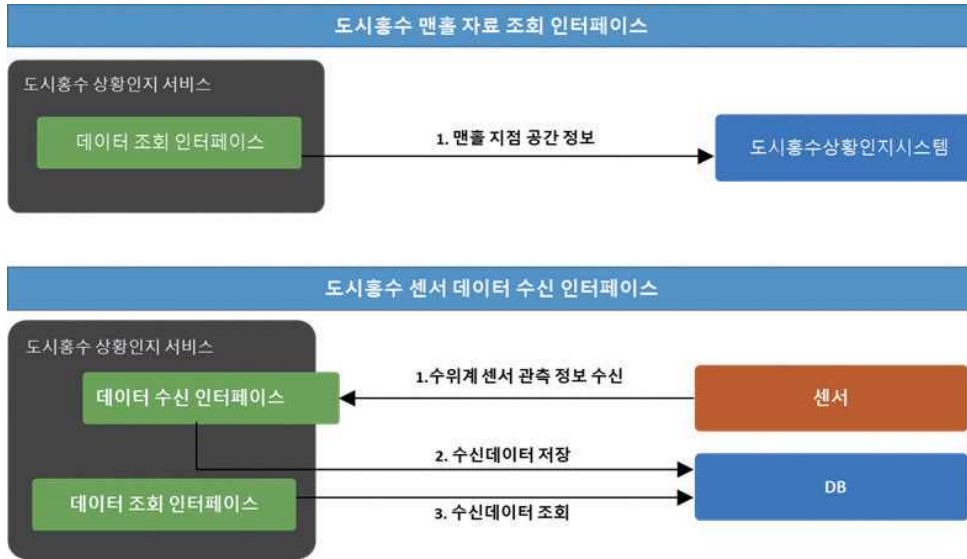
- 경사지 붕괴 예·경보 서비스의 인터페이스는 안전플랫폼과 센서의 데이터를 연결하는 역할을 한다. 인터페이스는 센서 위치 정보 수신, 센서 데이터 조회, 기상정보 수집, 측정 데이터 수집, 통성 및 물성 정보 조회, 위험도 평가 정보 전송으로 구성되어 있다.



〈그림 2-7〉 경사지 붕괴 예·경보 서비스 인터페이스

● 도시홍수 상황인지 서비스 인터페이스

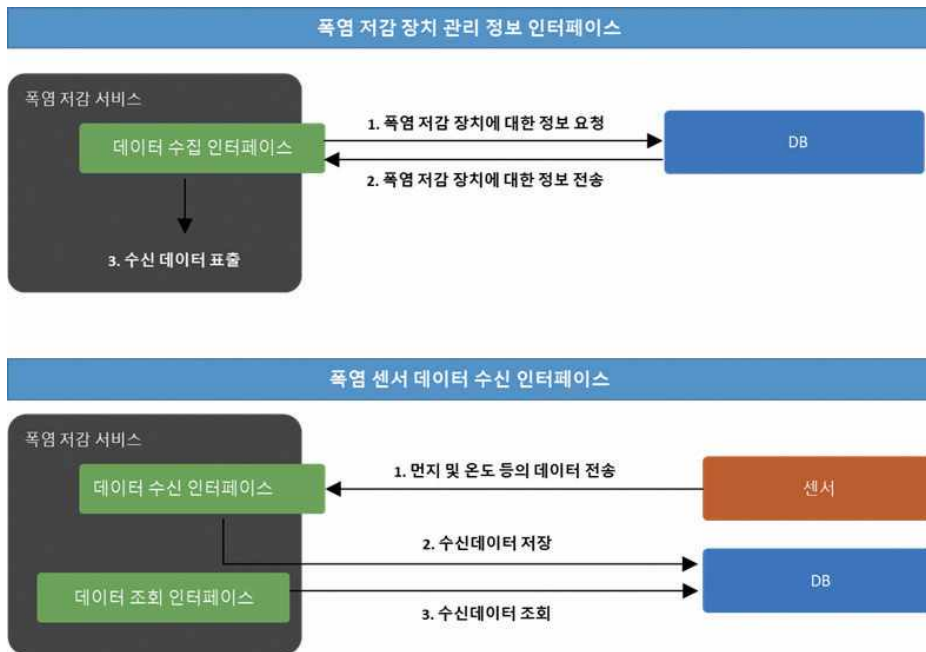
- 도시홍수 상황인지 서비스의 인터페이스는 센서 데이터 수신, 수위계 위치 조회, 기상청 관측자료 조회, 맨홀별 침수 발생량, 맨홀 자료 조회, 서비스 관로 조회 등의 인터페이스로 구성되어 있으며 JSON(JavaScript Object Notation) 타입 메시지로 통신한다.



〈그림 2-8〉 도시홍수 상황인지 서비스 인터페이스

○ 폭염 저감 서비스 인터페이스

- 폭염 저감 서비스의 인터페이스는 저감장치 관리 정보, 센서 데이터 수신, 저감 서비스 인터페이스로 나뉘며 실시간으로 데이터를 수신한다.

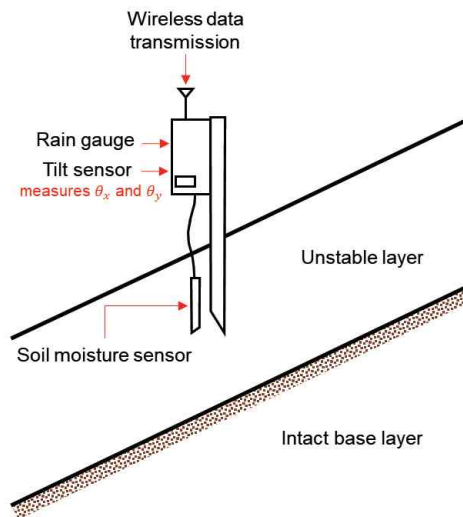


〈그림 2-9〉 폭염 저감 서비스 인터페이스

4-2 경사지 붕괴 예/경보 서비스

● 경사지 센서 정보 생산

- 경사지 센서(그림 2-10)로부터 1분 간격으로 획득한 기울기값과 온도를 바탕으로 센서 계측 지점의 기울기 변화율(TR) 정보를 생산한다. 센서는 대구광역시 북구에 위치한 연암공원에 6개(2개소, 1개소당 3개)를 설치하였다.(그림 2-11)

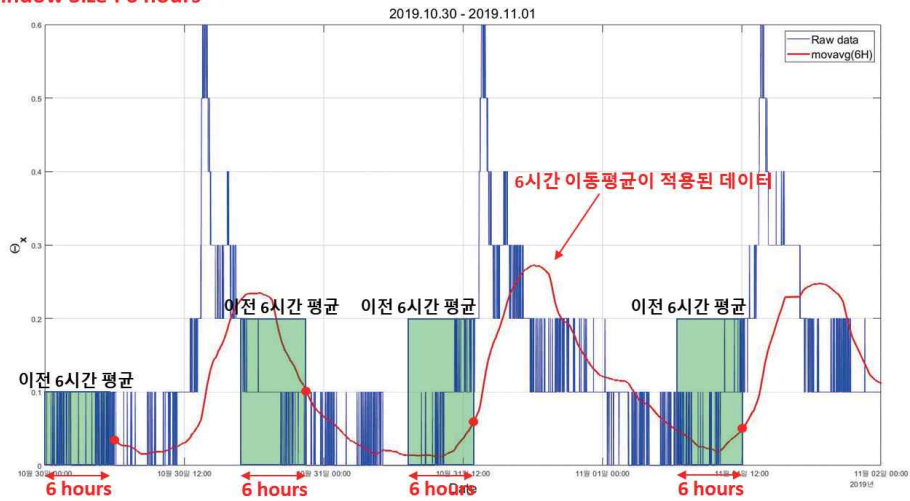


〈그림 2-10〉 경사지 센서 모식도



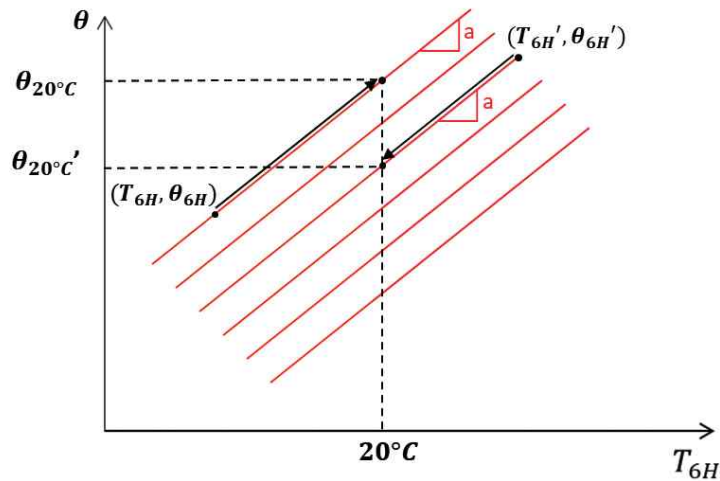
〈그림 2-11〉 경사지 센서 위치

Window Size : 6 hours



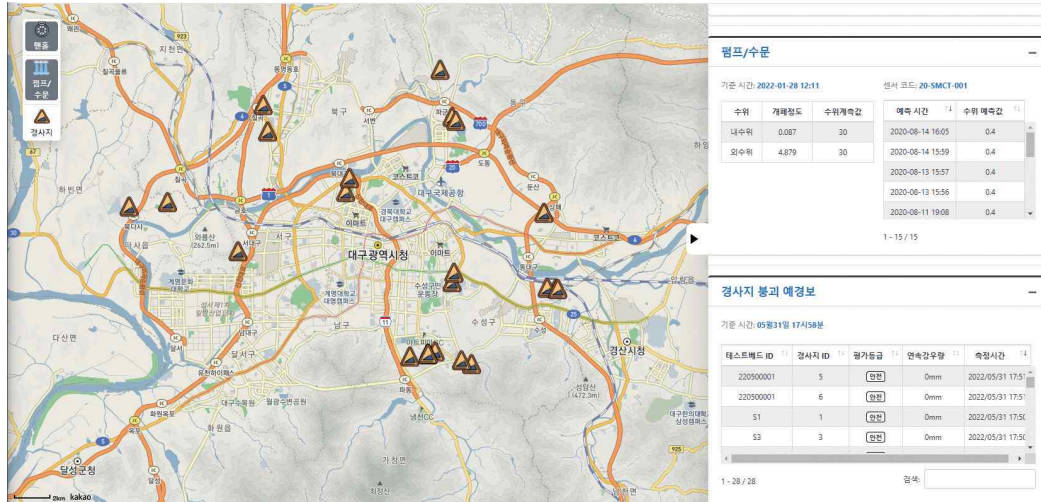
〈그림 2-12〉 이동평균 예시

- 이동평균 적용: 이전 6시간 동안의 기울기 값들의 평균을 현재의 기울기 값으로 취 함으로써 필터링을 수행하여 파란색 그래프와 같은 노이즈를 빨간색 그래프처럼 완만하게 만든다.〈그림 2-12〉
- 온도보정 적용: 20°C에 대한 기울기 값을 산정하여 온도에 따라 기울기 값이 비례하 는 영향을 보정한다.〈그림 2-13〉



〈그림 2-13〉 온도보정 예시

- 센서 미세측·계측 지점 예/경보 결과 생산 및 제공
- 테스트베드별 실시간 예/경보 결과(안전·관심·주의·경계·심각)를 제공하며 수성구, 동구, 북구, 달서구, 달성군에 적용하였다.<그림 2-14>

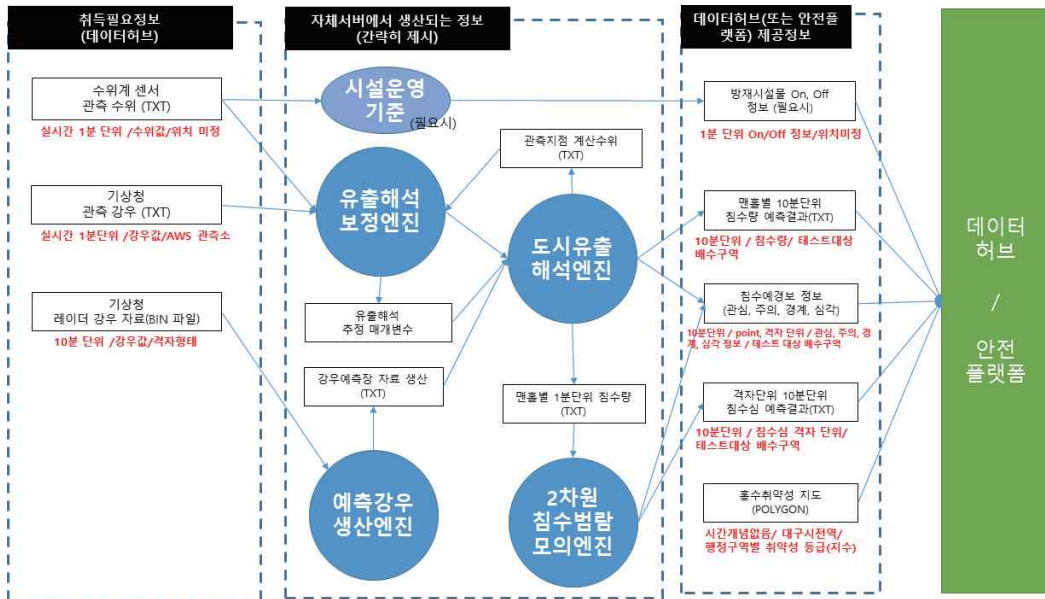


<그림 2-14> 경사지 붕괴 예/경보 안전 플랫폼

4-3 도시홍수 상황인지 서비스

- 도시홍수 상황인지 서비스의 핵심 구성 요소기술은 아래 5가지로 정리할 수 있다.
- 첫째, 기상, 수위/유량 관측 자료는 개별 기관의 정보시스템과 연계하여 정보를 취득하고 도시홍수 상황인지 플랫폼 구축에 필요한 자료로 가공한다. 예를 들어, 기상 정보 중 강우량의 경우, 누적 강우를 단위 시간 간격당 강우로 환산하는 작업이 요구된다.
- 둘째, 실시간 기상관측 데이터의 분석 정보 생산과 수위/유량 모니터링은 기상청, 지자체 등에서 관할하는 지점별 기상관측 자료와 레이더 강우 자료의 실시간 취득 및 분석이 요구된다. 또한 수위/유량 모니터링은 IoT 개념의 저전력 통신 네트워크 구축 기술을 포함한 IoT 관련 실시간 계측기술을 적용한다.
- 셋째, 도시홍수 상황인지를 위한 자료 생산 체계 구축 및 예/경보 기준 마련에서는 도시홍수 상황인지를 위한 수위 및 유량 모델링을 통해 실시간 자료를 생산하고 침수예측 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 관측 자료의 검/보정을 수행한다.

- 넷째, 기상 시나리오 기반 침수분석 및 실시간 침수범위, 침수심 상세 분석 자료(2차원 침수예측 정보) 생산에서는 2차원 침수모의를 통해 공간적인 정보가 반영된 호수 시나리오별 침수범위, 침수심 데이터를 생산한다. 생산된 결과는 실시간 기상관측 데이터와 연계하여 홍수 예/경보 시 활용한다.
- 마지막으로 도시홍수 관측, 예측 정보 생산자료를 데이터허브와 연계하여 서비스를 제공한다. 이러한 데이터허브 연계는 도시홍수 상황인지 플랫폼에서 생산되는 홍수 정보의 모바일 전파 및 타 분야의 정보서비스와 연계활용을 위해 반드시 필요한 과정이라 할 수 있다.

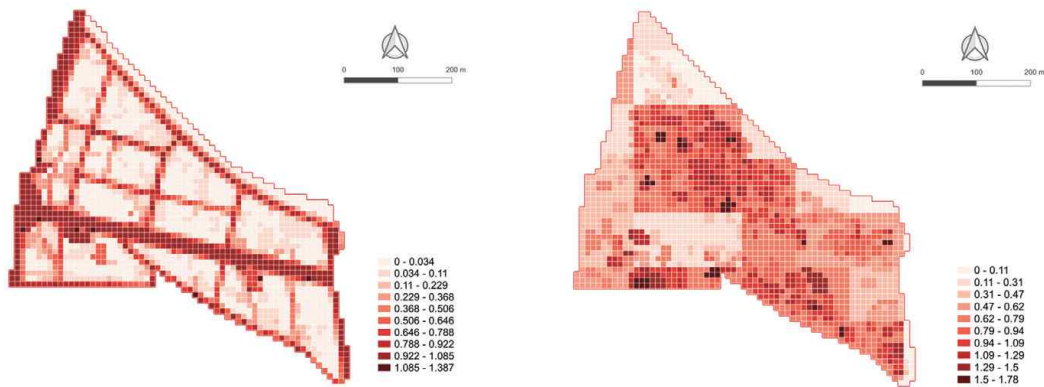


〈그림 2-15〉 도시홍수 상황인지 서비스의 주요 요소 기술 (방재학회지, 2019)

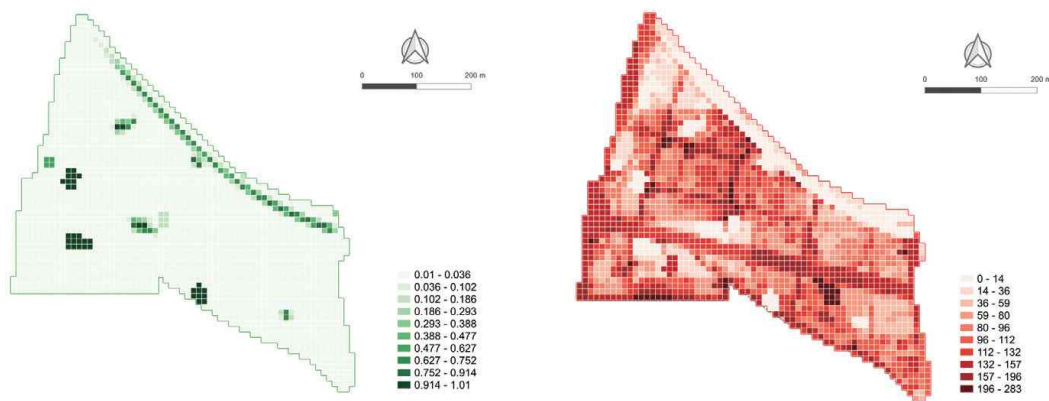
4-4 폭염 저감 서비스

- 지역 맞춤형 시민 대응 체계 구축을 위한 상세 공간 단위 열 취약성 정보 제공
 - 시민에게 열 취약성 정보를 제공하고 지자체 폭염 대응 의사결정을 지원하기 위해 상세 지역 단위로 다양한 도시 구성요소의 공간정보를 분석하였다. 분석한 공간정보는 국내 다양한 공공기관(E.g. 기상자료 개방포털, 국토지리정보원, 환경공간서비스, 대구지도포털)에서 제공해주는 오픈소스 자료를 QGIS 툴을 통해 10m 단위격자로 가공하여

활용하였다. 특히, 기후 노출 부문 기반에는 폭염일수, 열대야 일수, 도로 및 건물의 데이터를 활용했다. 민감도 부문에 대해서는 취약계층 인구데이터, 취약 건물 데이터를 활용했고, 적응능력 부문에는 녹지, 무더위 쉼터 및 의료기관 데이터를 활용했다. 부문별 취약성 결과를 독립적으로도 도출하였고, 3가지 부문을 모두 종합적으로 분석하여 최종적으로 상세 공간 단위별 종합 폭염 취약성 등급(1~10등급) 지도를 도출했다. 취약성 등급은 QGIS 내에서 총 10등급으로 도출하였고, 이를 기반으로 대상 지역의 폭염 위험도 우선순위를 제안했다.



〈그림 2-16〉 취약성 분석 결과 (좌: 기후 노출, 우: 민감도)



〈그림 2-17〉 취약성 분석 결과 (좌: 적응 능력, 우: 폭염 취약성 종합)

○ 환경 센서를 통한 환경 데이터 수집

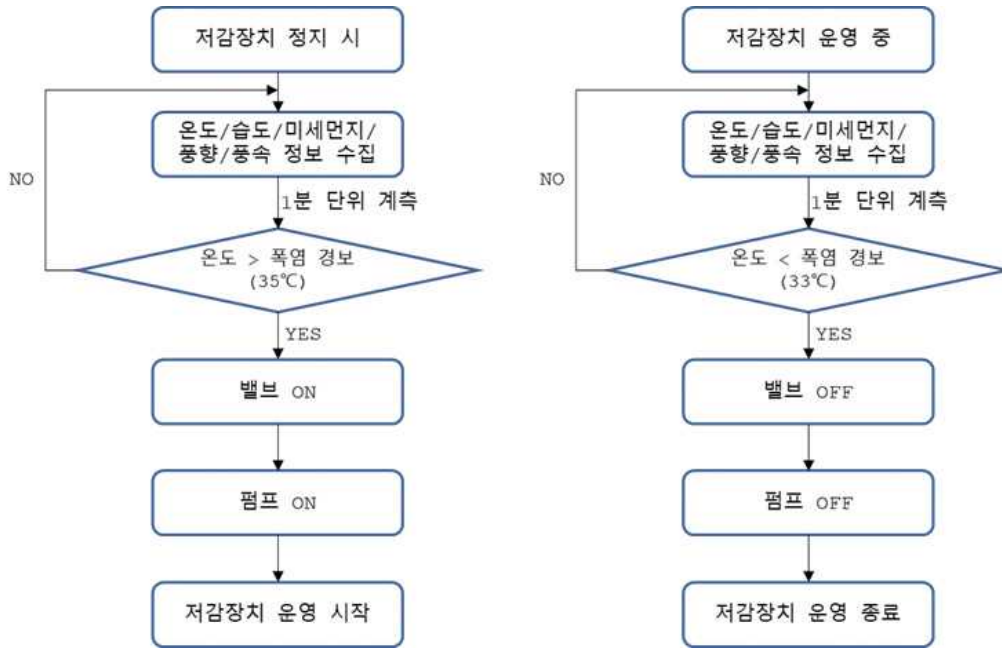
- 폭염 저감 장치 제어기기는 Massive IoT 무선통신 Module을 탑재함과 동시에 환경 센서와 연계되어 있다. 환경 센서를 기반으로 온도, 습도, 미세먼지, 풍향, 풍속의 환경정보를 1분 단위로 수집/전송하는 데이터 수집 체계를 구축하였다. 수집된 계측 정보를 기반으로 폭염 저감 장치의 운영 (시작/멈춤)을 제어하였다.



〈그림 2-18〉 환경 센서(좌)와 폭염 저감 장치 제어기기 설치(우)

○ 폭염 저감 장치와 데이터 공유를 통한 장치 제어

- 환경센서를 통해 수집된 온도, 습도, 미세먼지 등의 계측정보 기반으로 폭염 저감 장치 운영을 제어하였다. 제어를 위한 기본조건으로 온도 정보를 활용하였으며, 부가조건으로 습도, 미세먼지, 풍속 등의 계측정보를 활용하였다. 폭염 저감 장치 운영 시작 온도는 폭염 경보(35℃)로 설정하였으며, 정지 조건으로 폭염주의보(33℃)를 설정하였다.



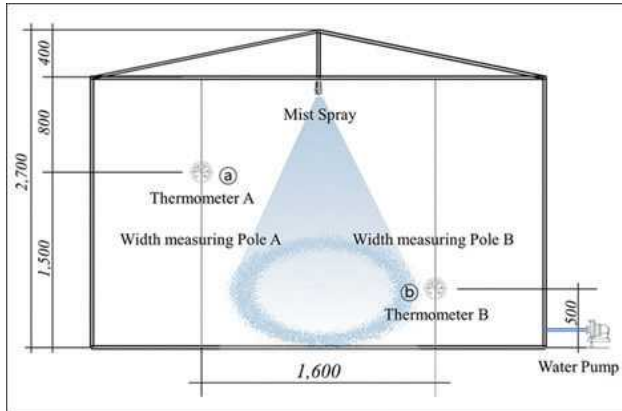
〈그림 2-19〉 폭염 저감 장치 제어 흐름도 (좌:정지 시, 우:운영 시)

○ 안전플랫폼과 데이터 공유를 통한 서비스 제공

- 환경 센서를 통한 계측정보 및 폭염 저감 장치 제어정보를 Massive IoT 무선통신 Module을 사용하여 폭염저감서비스 운영관리 시스템(이하 '폭염 서비스')으로 전송한다. 폭염 서비스는 폭염 저감 장치 제어기기의 위치정보를 기반으로 온도, 습도, 미세먼지 등의 정보와 폭염 저감 장치의 운영 현황을 화면에 표출하였다.

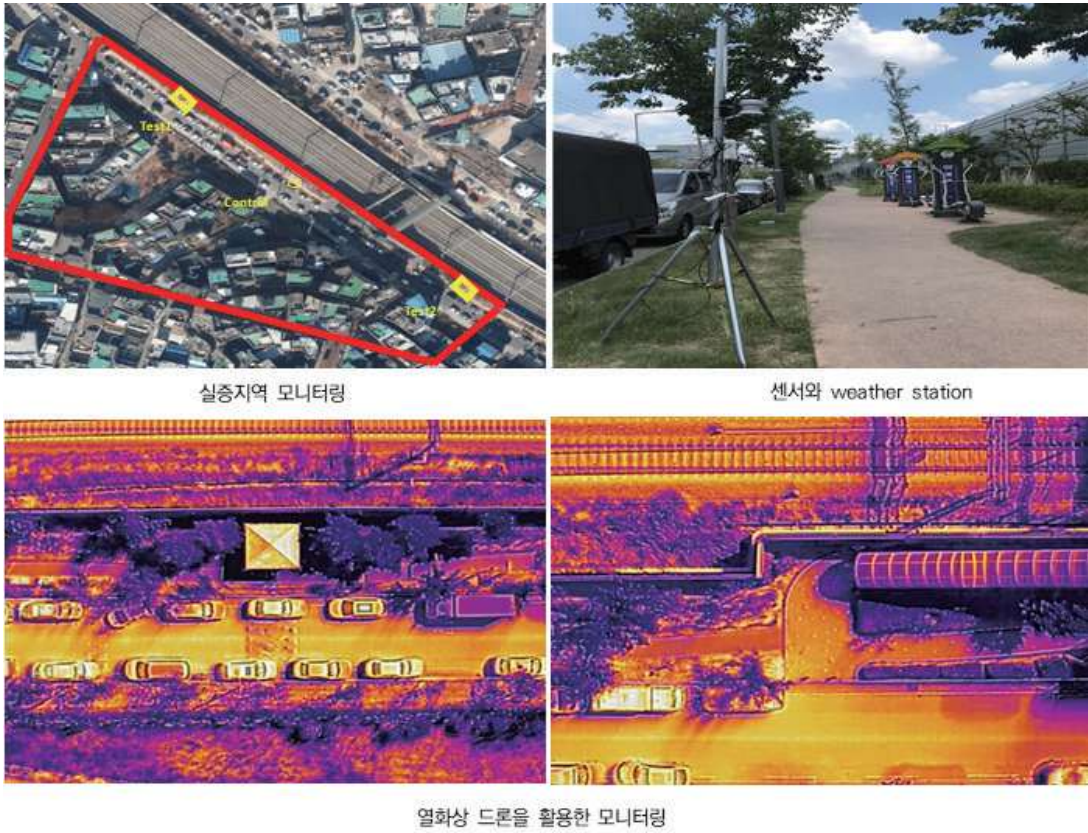
○ 폭염 저감 장치의 설계 및 모니터링

- 폭염 저감 장치의 설계를 위해 실내 실험의 경우 미세 물입자를 분사하는 노즐의 크기에 따라 분사 반경, 분사량을 실험하였으며 액체 형태의 미스트가 지면에 닿기 전에 증발하여 젖지 않고 쿨링 효과를 줄 수 있는 노즐의 크기를 선정하였다. 실외 실험의 경우 분사 높이 및 분사 위치별(이.e. 상향식 미스트, 하향식 미스트) 온도저감효과를 실험하여 분사 위치별 온도저감효과를 극대화할 수 있는 높이 값을 도출하였다.

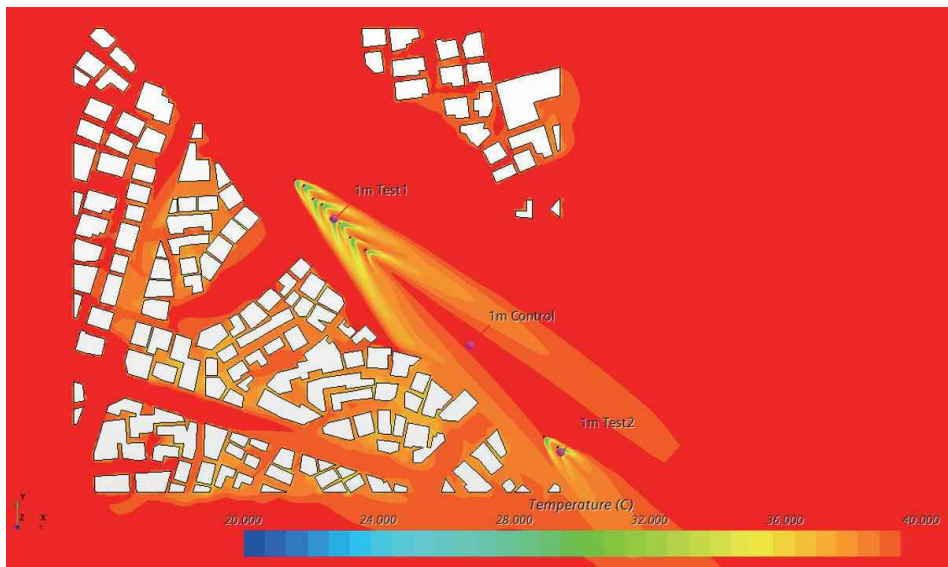


〈그림 2-20〉 폭염 저감 시설의 설계를 위한 실내외 실험

- 폭염 저감 장치의 온도저감 효과를 모니터링하기 위해 실증지역 내에서 측정한 데이터와 동일 조건하에서 시뮬레이션 데이터와 비교하는 방법을 사용하였다. 장치가 설치된 비산동 철도 옆 주거지역을 대상으로 온/습도 및 풍향/풍속 데이터를 수집하였다. 장치가 설치된 파고라가 위치한 Test 1, 2 지역과 설치되지 않은 대조군 지역에 센서와 기상관측장비를 설치하여 측정하였고 추가적으로 열화상 드론을 활용하였다.
- 모니터링을 위해 측정된 데이터와 시뮬레이션 데이터 사이에 비교 분석을 진행하였을 때, 온도는 약 섭씨 0.2도 습도는 약 1% 정도의 미세한 차이가 있음을 보였다. 하지만 두 자료에 대해 상관성 분석을 했을 때, 결정계수 R^2 값이 0.8 이상으로 1에 가까웠으며 높은 상관성을 보였다.



〈그림 2-21〉 실증지역 모니터링과 열화상 드론 영상



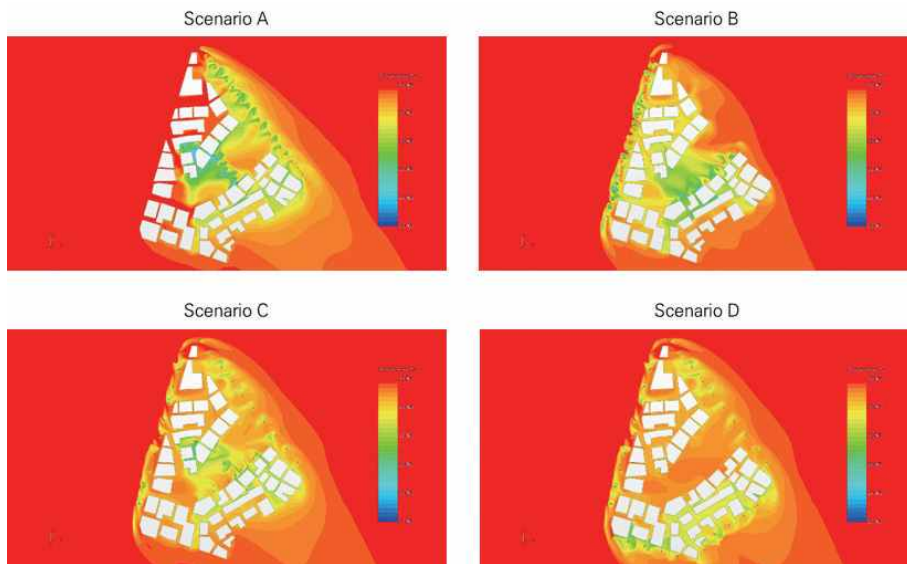
〈그림 2-22〉 폭염 측정 데이터

〈표 2-1〉 시뮬레이션 검증 결과

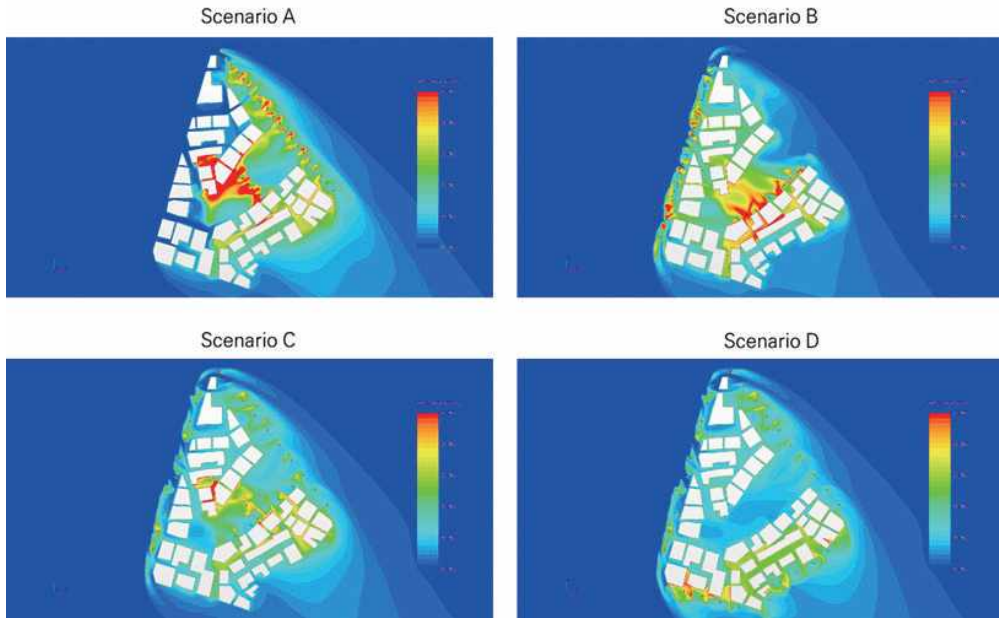
	온도		습도	
	측정	시뮬레이션	측정	시뮬레이션
Control	39.971	39.7585	37.2	40.37
Test 1	35.636	35.4325	47.0	47.88
Test 2	36.308	36.0416	45.1	46.74

○ 폭염 저감 장치의 최적화 배치

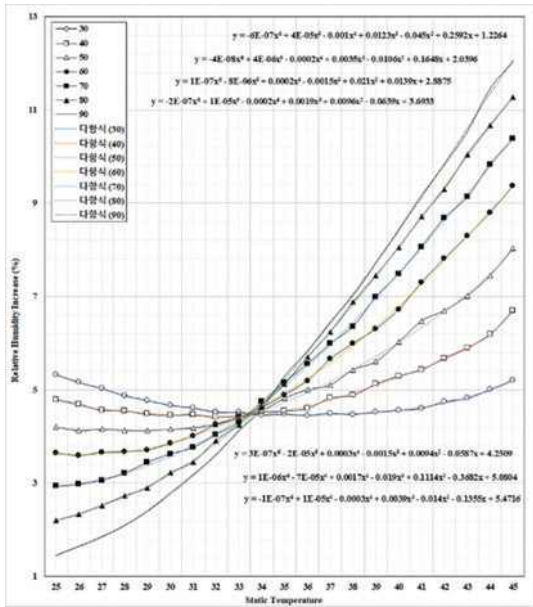
– 폭염 저감 장치의 대구광역시 인동촌 도시재생지역 내 최적의 배치안을 도출하기 위해 전산유체역학 기반의 수치분석을 진행하였다. 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)은 광범위한 도시의 외부 공간 내 온도, 습도, 바람 등의 유동현상을 시공간적 제약 없이 정량적으로 분석할 수 있다. 대상지역 전체를 촘촘한 격자로 나누고, 기본값으로 입력되는 풍향, 풍속, 온도 등의 환경데이터를 격자마다 저장하여 격자 간 상호작용을 계산하는 방식이다. 이를 통해 각각 서로 다른 배치 형태를 가진 4가지 시나리오에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며, 온도저감효과 및 상대습도가 어떻게 변화하는지 정량적으로 분석하였다. 분석 결과를 기반으로 최적화 배치 형태를 도출하였고 추가적으로 온열질환에 취약한 계층(어린이, 노인 등)의 평균 신장을 고려하여 지반으로부터의 고도별 온도저감효과를 분석하였다.



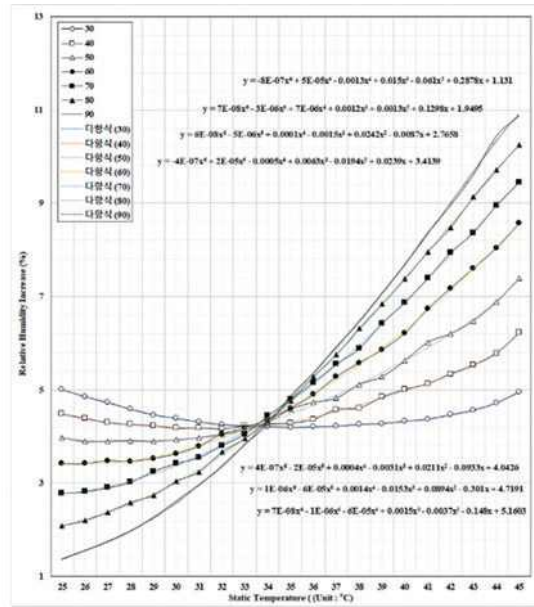
〈그림 2-23〉 폭염저감시설 최적화 설계 과정 : 온도저감효과



〈그림 2-24〉 폭염저감시설 최적화 설계 과정 : 상대 습도



온도저감효과
(취약계층 제감 온도 변화 추이, H:1.0m)



온도저감효과
(일반인 제감 온도 변화 추이, H:1.5m)

〈그림 2-25〉 온도저감효과 분석

1 | 실증 체계

1-1 실증 체계

- 대구광역시에 실증하고 있는 안전플랫폼은 지자체 유관부서의 요구사항 수렴과 업무협의를 통한 시민 체감형 서비스를 위해 노력하고 있으며 데이터허브와 연계한 효율적 서비스 운영이 되도록 하고 있다. 생산되는 데이터의 경우 실데이터 기반 시 운영을 통한 시스템의 안정적 운영 및 고도화를 지속적으로 추진 중이며 월 1회 이상 데이터허브 연계 협의를 진행하고 있다.
- 특히, 대구광역시 유관부서와의 협의는 대구광역시 스마트시티과, 공원녹지과, 자연재난과 및 서구청 도시재생센터와 지속적인 실증 협력을 추진 통합관제센터 내 안전플랫폼 이관을 진행하고 있다.
- 폭염 저감 서비스의 경우 실증지역 내에 기설치된 폭염 저감 장치 10개소에 대해서는 지자체 유관부서와 협의가 완료된 상태이며, 장치를 제어할 수 있는 제어기기, 장치와 서버 간 통신 프로토콜 정의서, 폭염 저감 서비스 운영관리 시스템 및 매뉴얼의 이관을 진행할 예정이다.

2 | 실증 대상



〈그림 3-1〉 안전플랫폼 및 재해재난 서비스 실증 대상

- 안전플랫폼 실증은 각 단위 서비스별로 대구광역시 시내 지역을 선정하여 함께 진행하였다. 안전플랫폼의 실증 대상은 다음과 같다.
 - 단위 서비스별로 생성되는 센서 데이터가 안전 플랫폼의 인터페이스를 거쳐 수집되면 DB에 저장된 데이터를 분석해 유효한 값이 입력되었는지 확인하였다.
 - 수집된 데이터가 데이터허브와 정상적으로 연계되는지 확인하고, 연계 인터페이스 최적화 작업을 진행하였다.
 - 경보 전파 시 도시 안전 모바일앱과 연동하여 알람이 정상적으로 이루어지는지 확인하고, 개인 단말기의 위치데이터를 기반으로 필요한 정보가 제공되는지 확인하였다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 경사지 붕괴예보/경보 서비스의 경우 센서 미설치 지점 21개소(수성구 9개소, 동구 4개소, 북구 4개소, 달서구 1개소, 달성군 3개소)와 센서 설치 지점 2개소(연암공원 2개소)를 대상으로 실증을 진행하였다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 도시홍수 상황인지의 경우 인동촌, 비산, 달서, 산격, 산격3, 신촌, 방촌 배수분구 포함 서구 전체를 실증대상으로 하고 있으며 경사지 붕괴 서비스의 경우 대구광역시 미센서 예측 21개소, 센서 예측 2개소를 대상으로 한다.

● 폭염 저감 서비스

- 폭염 저감 서비스의 경우 비산 2, 3동 일대를 실증 대상으로 하고 있다. 기상정보(풍향, 풍속, 온도, 습도, 미세먼지)를 수집하는 장치 2개소, 폭염 저감을 위한 나노미스트 분사 형식의 폭염 저감 장치 10개소, 폭염 저감 장치의 자동 제어를 위한 제어기기 1개소를 대상으로 한다.

3 | 실증 경과



〈그림 3-2〉 안전플랫폼 및 재해재난 서비스 실증 경과

● 안전플랫폼

- 연구개발 2단계('20~'21) 기간 동안 대구광역시에서 기능 테스트와 시연을 실시하고, 3단계('22)에서 실증을 진행하였다.
- '21년도 하반기에 안전플랫폼 및 모바일 앱 서비스 테스트베드 구축을 위해 대구광역시와 협력하여 서버 및 운영 공간을 확보한다.

- 경사지 붕괴 예/경보 서비스, 도시홍수 상황인지 서비스와 인터페이스를 통한 데이터 송수신 테스트를 실시하였다. 또한 상세 위치기반 재난정보 서비스와 데이터 송수신 인터페이스 테스트를 진행하였다.
- 데이터허브와 안전플랫폼 간 연동 테스트를 실시하고, 대구광역시 관제사의 의견을 반영해 지속적인 서비스 운영을 위한 운영 기본계획을 수립하였다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 강우데이터 기반 위험도 평가 인자들을 계산하여 총 5단계로 각 경사지의 위험도 평가하였다. 센서 미설치 지점 21개소에 대해서는 20년 8월부터 현재까지 예보/경보 모니터링을 수행하고 있으며 2018~2019에 발생한 산사태로 정확도를 검증하였다. 센서 설치 지점 2개소에 대해서는 20년 4월부터 현재까지 모니터링을 수행하고 있으며 필터링, 이동평균법, 온도보정을 적용하여 엄밀한 급경사지 붕괴 위험도 평가가 가능하도록 하였다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 실황 및 예측 강수량 정보를 이용하여 대구광역시 서구 일원에 1차원, 2차원 침수 예측정보를 생산하고 있으며 상황별 홍수 예/경보 정보를 Segment 기반으로 제공하고 있다. 또한 인동촌에 설치된 수위 모니터링 정보를 실시간으로 표출하고 있다.

● 폭염 저감 서비스

- 폭염 저감 장치의 온도 저감 성능을 극대화하기 위해 실내외 실험을 통해 폭염과 밀접한 기상정보와 관련하여 최적의 운영 조건을 도출하였고, 이를 기반으로 2021년 여름 비산동 철도 옆 주거지역을 대상으로 실증을 진행하였다. 또한 비산동 일대의 폭염 취약성 정보 분석을 통해 상세 지점별 취약성 분석 지도를 제공하고 있으며, 기상정보 수집장치의 데이터를 기반으로 하여 10단계로 구분된 취약성 정보를 제공하고 있다.

4 | 실증 결과

● 안전플랫폼

- 각 단위 서비스와 연계하는 수집 인터페이스를 개발하여 실시간 센서 데이터를 통합할 수 있는 기반 기술을 마련해 높은 확장성을 확보하였다.
- 각 단위 서비스별 수집된 센서 데이터를 분석하여 경보 단계를 표출하는 알고리즘을 제공한다. 이를 통해 분석 결과에 따른 정확한 경보 단계 설정이 가능하다.
- 경보 전파 시 사용자의 위치 데이터에 기반한 정보를 제공하며, 능동적인 대응을 지원한다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 안전플랫폼에 탑재된 경사지 붕괴예보/경보 서비스는 방재기상관측소(AWS) 강우자료와 현장 지반 특성 및 경사지 센서 기울기 데이터를 기초로 경사지 붕괴 위험도 알고리즘을 구동하여 센서 미설치 지역과 센서 설치 지역에 대한 상황별 경사지 붕괴예보/경보 정보(안전-관심-주요-경계-심각) 형태로 시민들에게 제공하고 있다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 안전플랫폼에 탑재된 도시홍수 상황인지 서비스는 종관기상관측소(ASOS), 방재기상관측소(AWS), 레이더(Radar) 강우자료를 기초로 도시홍수 상황인지 모형을 구동하여 대구광역시 서구 일원 주요 배수분구에 대한 1차원 침수 예측정보(우수관로, 맨홀의 수심, 월류량), 2차원 침수 예측정보(침수심, 침수면적)를 생산하고 생산된 침수예측정보는 상황별 홍수 예/경보 정보(안전-관심-주요-경계-심각) 형태로 시민들에게 제공하고 있다.

● 폭염 저감 서비스

- 폭염 저감 장치와 센서를 통해 수집된 기상정보를 운영관리시스템과 연동하여 폭염 저감 서비스를 제공하고 있다. 기상정보와 취약성 지도를 연동하여 실시간 취약지점 및 범위를 표출하고 있으며, 폭염저감장치 제어기기와의 연동하여 기상조건에 따라 자동으로 제어한다. 디바이스, 운영관리시스템, 분석자료의 연동을 통해 기존 지역

단위에서 상세 단위(동 단위)로 폭염 대응 관련 의사결정자료를 제공하고 있다.



〈그림 3-3〉 폭염 저감 서비스 운영관리시스템

1 | 운영 방안 (안)

● 안전플랫폼

- 안전플랫폼은 기존의 안전 분야 서비스와 연계를 통해 새로운 재해재난 대응이 가능하다. 특히 실시간 데이터 연동 인터페이스를 기반 기술로 활용하여 타 지자체, 다양한 센서 기반 시설물에 적용 가능하다.
- 과거의 수재해, 폭염 등 데이터를 활용해 재난 발생 시 수위 변동, 기온 변화 등을 분석하여 정확도 높은 재난 대응 기술 개발이 가능하다. 데이터허브 연계를 통한 시민의 기술 이해도를 증대하는 안전플랫폼 기술의 가치를 높여 신사업 생태계 조성의 기반을 조성할 수 있다.
- 위치기반 경보 전파 기능은 사용자 맞춤형 정보 전달로 재난메시지에 대한 신뢰성을 높이고, 능동적 대응 능력을 높인다는 점이 대구광역시 실증을 통해 검증되었다. 대구광역시의 실증 사례를 통해 신뢰성과 효과성 확보 및 지자체의 성공적 운영을 바탕으로 세종시, 부산시 등 재난대응 서비스 확산이 가능할 것이다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 경사지 붕괴예보/경보 서비스는 대구광역시 전역을 대상으로 실증을 진행하고 있으며 현장 경사지의 지반 물성과 경사지 센서 데이터를 평가 인자로 사용한다.
- 본 서비스의 확산을 위해서는 접근이 용이한 경사지 선별과 지반 물성 시험 및 경사지 데이터 분석에 대한 교육이 수행되어야 한다.
- 경사지 센서 및 유지관리 매뉴얼과 테스트베드 구축 가이드라인을 대구광역시 스마트시티과로 이관함으로써 보다 광범위한 지역에 대한 경사지 모니터링이 가능할 것이다. 또한 운영 관련 전문인력을 양성 및 배치함으로써 서비스 고도화 및 확산이

가능할 것이다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 도시홍수 상황인지 서비스는 현재 대구광역시 서구에 시범 적용되고 있으며 향후 추가적인 도시홍수예측 모델 구성을 통해 대구광역시 전역으로 확산이 가능하다.
- 특히 본 서비스의 주요 기능은 국가홍수지도, 재해정보지도, 침수흔적도 등과 공동 활용이 가능하며 전국 개별 지자체에 확산하여 국가 차원의 홍수대응능력 향상을 도모할 필요가 있다.

● 폭염 저감 서비스

- 폭염 저감 서비스를 확산하기 위한 일차적 방안으로는 대구 인동촌 도시재생사업의 범위를 확장하는 것이다.
- 현재 실증지역인 비산 2, 3동 일대를 대상으로 서비스를 제공하고 있지만 정보 수집 지역의 확대를 통해 상세단위별 폭염 대응 솔루션 제공이 가능하다. 또한 대구 서구청 도시재생과 및 인동촌 도시재생센터에 시설 및 시스템을 이관 및 공동관리 교육을 통해 타 세부과제 내에 폭염 저감 장치를 비롯한 서비스 제공 시에 활용이 가능하다.
- 나아가 대구광역시 스마트시티과의 협력을 통해 타 행정조직 및 연구기관별 요구사항을 도출하여 폭염과 센서 등을 활용한 데이터 공유에 대한 시대적 요구에 따른 유관 분야의 활성화 및 전문인력 양성이 가능할 것이다.

1 | 문제 해결 사례

- 안전플랫폼은 여러 개의 단위 서비스와 연계하여 운영되는 플랫폼으로 개발 과정에서 발생한 문제점들은 각각의 단위 서비스별 특징에 따라 상이하게 발생하였다. 아래는 단위 서비스별로 발생한 문제들과 그 해결 방법에 대한 설명이다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 대구광역시 북구 연암공원 2개소에 설치된 경사지 센서는 본래 태양광 패널을 전력 원으로 사용하였으나 주변의 식생 및 암반으로 인해 일부 센서의 전력이 공급되지 않는 현상이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 대구광역시 북구 연암로 32길 21 부근에 위치한 한 전주로부터 전력 유선화를 진행하여 경사지 센서의 전력 공급 문제를 해결하였다.
- 경사지 센서의 기울기가 온도에 비례하는 현상이 나타나 온도보정을 통해 20°C에 해당하는 기울기를 산정하였다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 국내에서 도시홍수 상황인지를 위한 2차원 모형의 경우 국외에서 개발되어 고가로 판매되는 상용소프트웨어를 주로 활용하여 왔으며, 이로 인해 기술의존도가 매우 높고 별도의 유지관리 비용이 요구되었다.
- 이러한 한계를 뛰어넘어 본 연구에서는 참여 연구기관이 직접 개발한 '2DIS 모형'을 이용하여 2차원 침수 예측을 수행하여 2차원 침수해석 기술의 국내 자립 기반을 완성하였다. 이뿐만 아니라 고가의 유지관리 비용 지출이라는 한계를 뛰어넘었다.

● 폭염 저감 서비스

- 실증지역에 설치된 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치를 도입함에 있어 유관 시설에 대한 기준을 포함하고 있는 조경 분야 수경시설(KDS 34, KDS 50, KDS 35)에는 연못, 분수, 벽천 등에 관한 설계기준만 제시되어 있어 해당 장치에 대한 기준은 마련되지 않은 상태였다. 이에 실내/외 실험을 통해 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치에 대한 합리적 설계기준을 정립하여 해당 시설물 도입 시 외부 기후 등의 여건 변화에 탄력적 대응이 가능하도록 하였고, 개정이 필요한 현안 사항의 해결을 제안하였다.

2 | 기술적 한계

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 본 연구과제는 경사지 붕괴 예/경보 서비스 제공을 통한 시민 대피 시간 30분 이상 확보를 목표로 하고 있다. 그러나 경사지 붕괴의 경우, 붕괴 발생 시각을 정확히 예측하기 어려우며 홍수와 달리 재난 발생 기준이 수치적으로 정의되어 있지 않다. 따라서 예/경보 결과가 경계 또는 심각일 때 경사지 붕괴가 발생한다고 가정하고 30분 뒤의 예측 강우량을 알고리즘에 적용하여 미래의 경사지 붕괴 유무를 판단한다. 이러한 가정은 보수적으로 시민들의 대피시간을 확보할 수 있지만 실제 발생 시각과 큰 차이를 보일 수 있다.
- 재해재난의 특성상, 실제로 이벤트가 발생하지 않으면 정확도 검증 및 서비스 보완이 어렵다.
- 경사지 센서의 경우, 야생동물 또는 등산객에 의한 노이즈가 발생할 수 있다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 예측강수량 정보의 신뢰성의 경우 불확실성이 높은 한계가 있으며 위해 지자체 단위의 자동기상관측소 추가 운영을 통해 강수량 예측자료의 품질향상이 요구된다.
- 정확한 침수예측을 위해서는 도시유출모형의 검/보정을 위한 우수관로 수위 관측망의 추가적인 확보가 필요하나 비용적, 유지관리 측면에서 한계가 있다.

● 폭염 저감 서비스

- 폭염 저감 서비스는 대상지역 내의 취약지역을 분석하고, 폭염 저감 장치 배치의 최적화, 수집된 정보를 기반으로 실시간 자동 운영 및 제어하여 온도 저감 성능을 최대한으로 함으로써 폭염에 대한 안전도를 상승시키는 서비스이다. 폭염 저감 장치의 자체 효율의 경우 국내 최초로 센서 등을 활용한 실내/외 실험을 통해 온도저감효과를 정량적으로 규명하였다. 또한 장치를 도입함에 있어 공간별 취약성 분석을 통해 우선순위를 설정하였으며, 디지털트윈 시뮬레이션 분석을 통해 근거 기반의 최적화 배치안을 도출하였다.
- 하지만 취약성 분석 및 최적화의 경우 실시간 서비스를 제공함에 있어 기구축된 지도 및 모델을 사용한다는 한계점이 있었다. 취약성 분석 및 최적화를 진행함에 있어 기후 정보를 반영해야 하며 시간에 따른 기후 정보의 변화는 필연적이기 때문에 추후 자동화 시스템을 구축할 필요가 있다.

3 | 거버넌스 관련

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 협약서상의 「협약 세부 조건」 제15조(연구개발성과의 귀속 등) 4항에 명시되어 있는 ‘연구개발 과제의 성과로서 취득하는 연구기자재, 연구시설/장비, 저작품 및 연구노트 등 유형적 성과는 주관연구기관(세부과제의 경우에는 협동연구기관을 말한다)의 소유로 하나, 연구개발성과를 공익적 목적에 활용하기 위하여 필요한 경우 연구개발성과를 국가의 소유로 한다’의 내용에 따라 데이터 소유권을 이관한다.
- 예/경보 평가인자 획득을 위한 실시간 기상자료의 경우 지자체-기상청 협의를 통해 데이터를 직접 연계하여 구축하는 방안을 마련해야 한다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 도시 홍수 상황에 대한 실황, 예측관리를 위해서는 지자체 방재담당 공무원, 서비스 운영 전문기업, 서비스 수요자가 참여하는 리빙랩 운영 등을 통해 서비스의 품질 향을 위한 노력이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 정부-기업-시민들이 참여하는

체감형 수재해 서비스를 위한 노력을 진행하였다.

- 자연재난 관련 서비스는 국민의 인명과 재산에 직결되는 매우 중요한 사항이므로 정부-기업-시민이 참여하는 네트워크 형성이 지속적으로 필요하다.

● 폭염 저감 서비스

- 직접적으로 온도저감효과를 통해 폭염 저감 서비스를 제공하는 나노미스트를 활용한 폭염 저감 장치를 도입함에 있어, 해당 시설이 조경 분야 수경시설에 포함되므로 조경 설계기준 및 조경공사 표준시방서의 수경시설의 일반 기준을 준수하여야 한다.
- 설치 지역의 기후적 특성 및 주변 경관과의 조화 등 기본적 설계기준을 고려하여야 하며, 물을 사용하기 때문에 내식성 있는 재질을 사용하고, 정수 설비의 도입을 통해 수질기준을 충족하여야 한다.

4 | 이관 과정의 시사점

● 안전플랫폼

- 안전플랫폼을 대구광역시에 이관하고 외부와 연계하기 위해서는 서버에 고정IP가 할당되어야 하는데, 네트워크 자원 할당이 지연될 경우 이관 과정에 차질이 발생할 수 있으므로 이관 계획을 세울 때 자원 할당 계획을 사전 협의하는 것이 필요하다.

● 경사지 붕괴 예/경보 서비스

- 데이터 센터로 해당 서비스를 이관 시 경사지, 홍수, 폭염, 긴급구난 등 각 서비스별 관리부서와 담당자가 상이하여 통합 관리할 주체가 필요하다.
- 통합 운영에 관한 가이드라인은 제공하나 운영 관리주체와 관련한 사항은 지속적 논의가 필요하다.
- 개발되는 서비스의 소유권은 지자체에 무상으로 이관되나, 유지보수 및 관리에 소요 되는 비용에 대해서는 별도의 협의가 필요하다.

● 도시홍수 상황인지 서비스

- 도시홍수 상황인지 서비스의 경우, 도시 기반시설물(우수관망, 배수펌프장) 등의 시설정보 갱신관리 및 시스템 반영이 필요하며 이에 대한 정부, 지자체의 투자 재원확보가 요구된다.
- 수재해 관련 서비스의 운용을 위해서는 수자원 전문가가 공동으로 서비스를 운용하는 것이 필요하며 행정적 지원 방안 마련이 요구된다.

● 폭염 저감 서비스

- 실증지역에 기설치된 폭염 저감 장치 및 제어기기, 장치와 서버 간 통신 프로토콜 정의서, 운영 매뉴얼은 무상으로 이관이 가능하나 폭염 저감 서비스 운영관리 시스템의 경우 이관 시 별도의 비용이 발생할 것으로 예상되며 협의가 필요하다.
- 또한 추후 유지보수 및 관리에 소요되는 비용 역시 협의가 요구된다. 폭염 저감 장치의 경우 장치 도입에 있어 지자체와 협의가 완료되었다.
- 추후 지속적 운영에 있어 수원과 전력의 공급이 필요하기 때문에 인근 상수도 공업소 및 한국전력과의 협의가 필요할 것으로 예상된다.

참고문헌

- 한국토지주택연구원, 데이터공유를 통한 도시 재해재난 안전 및 사회안전 긴급구난 기술 제안 발표 자료, 2018.
- 방재학회지, 스마트시티의 풍수해관리를 위한 도시홍수 상황인지 기술, 2019.
- 행정안전부, 국립재난안전연구원, 보도자료: 기후위기 원인 빅데이터와 전문가 집단지성 활용해 분석, 미래전략 모색, 2021.
- 박종표 등, 예측 강우-침수정보를 반영한 도시홍수상황인지 시스템 개발, 한국방재학회 학술발표회 2022
- 송영석 등, 도시특성을 고려한 홍수취약성 평가기법 개발: 대구광역시를 대상으로, 한국방재학회지, Vol. 20, No. 6, 2020.
- 핵코리아, 서울시 내수침수 위험지역 실시간 예측기술개발, 2019, 서울시 풍수해 포럼
- Dikshit, A., Satyam, D. N., & Towhata, I. (2018). Early warning system using tilt sensors in Chibo, Kalimpong, Darjeeling Himalayas, India. *Natural Hazards*, 94(2), 727–741.
- Mogami, T. A statistical approach to the mechanics of granular material. *Soils and Foundations* (1965), 5(2), 26–36.
- Park, J.Y. (2019) Development of a regional-scale landslide early warning system applying statistical and physically based evaluation approaches in sequence. Ph.D. dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Republic of Korea.
- Yoon, S.; Lee, S.R.; Kim, Y.T.; Go, G.H. Estimation of saturated hydraulic conductivity of Korean weathered granite soils using a regression analysis. *Geotech. Eng.* (2015), 9(1), 101–113.
- 2018년 강남구 쿨링포그 시스템 설치공사 공사시방서, 강남구청, 2018
- 미세먼지 저감을 위한 쿨링포그 시스템 조성공사 과업지시서(안), 강남구청, 2020
- 과천시 안개분무시스템 실시설계 시방서, 과천시, 2019
- 문경시 젊음의 거리 쿨링포그 시스템 설치공사 공사시방서, 문경시, 2020
- 대구광역시 수성구 2017년 폭염대비 쿨링포그시스템 설치공사 실시설계 용역 공사시방서, 대구광역시, 2017
- 조경설계기준 KDS 34, KDS 40, KDS 35, 수경시설, 2016
- 국내산사태통계연도별피해물량. 산사태 정보 시스템, 산림청, 2022, <https://sansatai.forest.go.kr>
- J. Kim, S.Y. Lee, J. Kang, Temperature reduction effects of rooftop garden arrangements: a case study of seoul national university, *Sustainability* 12 (15) (2020) 6032.
- J. Hansen, et al., *Global Temperature in 2018 and beyond*, Earth Institute, Columbia University, New York, 2019.
- (GISS), N.A.S.A.N.G.I.f.S.S., GISS Surface Temperature Analysis, 2021 [cited 2022.02.22].

- R.K. Pachauri, et al., Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ipcc, 2014.
- G. Jang, S. Kim, Are decline-oriented strategies thermally sustainable in shrinking cities? *Urban Clim.* 39 (2021), 100924.
- Daegu Metropolitan City, Daegu Resident Registration Demographics, 2021 [cited 2021 11.15.].
- J.-H. Eum, et al., Evaluation and utilization of thermal environment associated with policy: a case study of Daegu Metropolitan City in South Korea, *Sustainability* 10 (4) (2018) 1179.
- J.Y. Geun, S. Lee, A case study on the heatwave policy for vulnerable population due to climate change—focused on the elderly in Daegu city, *Crisisonomy* 15 (10) (2019) 43–60.
- Daegu Metropolitan City, Daegu Smart City Plan 2021–2025, 2021 (Daegu Metropolitan City).
- S.-H. Choo, E.-J. Ahn, H.-D. Kim, Time variation of thermal environment in seoul and Daegu during the heat wave in 2018, *Quant. Biosci.* 39 (2) (2020) 119–125.
- C. Hyun, et al., Comparison of the perception of summer heat wave and thermoregulatory behavior between adult males living in Seoul and in Daegu, Kor. *J. Community Living Sci.* 2 (2018) 17–32, <https://doi.org/10.7856/kjcls.2018.29.1.17>.
- S. Kim, Y. Lee, H. Moon, A study on Daegu City citizen’s consciousness about urban green space for heat wave mitigation, *Sustainability* 12 (1) (2018) 31–39.
- J. Kim, J. Kang, H. Kim, Experimental study on the temperature reduction effect of the nano-mist facility, *J. Environ. Sci. Int.* 30 (4) (2021) 353–367.
- J. Kim, J. Kang, H. Kim, Model design and demonstration test for the verification of temperature reduction effect of cooling fog system with stainless steel, *J. Environ. Sci. Int.* 29 (6) (2020) 683–689.
- E. Di Giuseppe, et al., Numerical modelling and experimental validation of the microclimatic impacts of water mist cooling in urban areas, *Energy Build.* 231 (2021), 110638.
- Korea Meteorological Administration, Standards for weather warning announcement in Korea [cited 2022 03.01.]; Available from: <https://www.weather.go.kr/w/weather/warning/standard.do>, 2022.
- T. Li, et al., A storage solution for massive iot data based on nosql, in: 2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications, IEEE, 2012.
- N. Ramachandran, et al., Sensor search using clustering technique in a massive IoT environment, in: *Industry Interactive Innovations in Science, Engineering and Technology*, Springer, 2018, pp. 271–281.
- N. Morgan, Spray application in plantation crops, *PANS Pest Artic. News Summ.* 18 (3) (1972) 316–326.

- B. Barfield, F. Payne, J. Walker, Surface water storage capacity of selected crop leaves under irrigation sprays, *Agric. Meteorol.* 12 (1973) 105-111.
- X. Jiang, et al., Impacts of mist spray on rice field micrometeorology and rice yield under heat stress condition, *Sci. Rep.* 10 (1) (2020) 1-13.
- J. Jacobson, Effects of acidic aerosol, fog, mist and rain on crops and trees, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 305 (1124) (1984) 327-338.
- G. Ulpiani, Water mist spray for outdoor cooling: a systematic review of technologies, methods and impacts, *Appl. Energy* 254 (2019), 113647.
- H. Montazeri, et al., Simulating the cooling effects of water spray systems in urban landscapes: a computational fluid dynamics study in Rotterdam, The Netherlands, *Landsc. Urban Plann.* 159 (2017) 85-100.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Verification Study Report for Construction Standard of Cooling Fog, 2021.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Development of Safety Technology from Natural Disaster in Urban Area and Urgen Rescue Technology for Social Safety through Sharing Data, 2021.
- C. Farnham, et al., Study of mist-cooling for semi-enclosed spaces in Osaka, Japan, *Proc. Environ. Sci.* 4 (2011) 228-238.
- R. McDermott, K. McGrattan, S. Hostikka, Fire dynamics simulator (version 5) technical reference guide, NIST – Spec. Publ. 1018 (5) (2008).
- D. Narumi, K. Shigematsu, Y. Shimoda, Effect of the evaporative cooling techniques by spraying mist water on reducing urban heat flux and saving energy in apartment house, in: 2nd Int. Conf. Countermeas, Osaka University, Japan, 2009.
- W. Jun-feng, T. Xin-cheng, Experimental study and numerical simulation on evaporative cooling of fine water mist in outdoor environment, in: 2009 International Conference on Energy and Environment Technology, IEEE, 2009.
- M. Kojima, K. Nakashima, A study of mist spraying system by urban transportation, in: Design for Innovative Value towards a Sustainable Society, Springer, 2012, pp. 720-723.
- C. Huang, et al., Solving model of temperature and humidity profiles in spray cooling zone, *Build. Environ.* 123 (2017) 189-199.
- Y. Toparlak, et al., A review on the CFD analysis of urban microclimate, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 (2017) 1613-1640.

