

NO.	제출 목록	제출 방식	
1	참가신청서	• 자필 서명하여 스캔파일 제출	서식 1
2	개인정보 수집·이용 동의서	• 자필 서명하여 스캔파일 제출	서식 2
3	참가자 서약서	• 자필 서명하여 스캔파일 제출	서식 3
4	아이디어 제안서	• [서식 4] 내용 작성 파일 제출 ※ 발표평가 선발자에 한해 발표자료 별도 제출	서식 4

[서식 1]

2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전 신청서

※ □는 필수 체크 사항이며, 참여구분에서 팀(공동)이나 기업으로 다수인이 참여할 경우 “공동 개발”란에 참여자 전원을 기재

참여구분	<input type="checkbox"/> 개인		<input type="checkbox"/> 팀(공동)		<input type="checkbox"/> 기업	
작 품 명						
팀 명	개인 참가시 미기재					
기획(개발)자 (팀, 기업일 경우 대표자 기재)	성 명		생년월일			
	휴대폰		E-Mail			
	소속	학생 <input type="checkbox"/> 회사 <input type="checkbox"/> 기타 <input type="checkbox"/> 직장(학교) :				
공동개발	성 명	소 속	연락처		E-mail	

본인은 『2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전』 관련 작성한 내용에 허위가 없음을 확약하며, 유의사항을 충분히 숙지하였고 아이디어 공모전 진행에 필요한 요구 사항에 성실히 응할 것에 동의합니다.

2025년 월 일

신청인(대표자)

(서명)

울산광역시시장 귀하

개인정보 수집 · 이용 동의서

소속기관	성명	생년월일	동의여부	서명
※ 팀 참여자는	참여자 전원 기재함		<input type="checkbox"/> 동의 / <input type="checkbox"/> 거부	
			<input type="checkbox"/> 동의 / <input type="checkbox"/> 거부	
			<input type="checkbox"/> 동의 / <input type="checkbox"/> 거부	
			<input type="checkbox"/> 동의 / <input type="checkbox"/> 거부	
			<input type="checkbox"/> 동의 / <input type="checkbox"/> 거부	

본인은 울산광역시에서 주관하는 『2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전』에 공모신청 및 선정평가와 관련하여, 개인정보보호법 제15조(개인정보의 수집·이용)에 따라 개인정보 수집·이용·제공에 관련한 내용을 아래와 같이 확인하고 동의합니다.

개인정보의 수집에 대하여 거부할 권리가 있으나, 거부 시 접수 및 선정평가 대상에서 제외되는 불이익을 받을 수 있습니다.

1. 수집·이용 목적
- 본 공모전 신청, 선정평가, 수상, 사후관리, 홍보 등

2. 수집·이용 항목
- 신청서 상에 기재한 개인식별 정보(이름, 주소, 생년월일, 성별, 메일, 소속, 학력, 전화번호(핸드폰 번호 포함))

3. 보유 및 이용기간
- 수집기간 : 2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전 참여 기간까지
 - 보유 및 이용기간 : 동의서가 접수된 때로부터 1년

다만, 접수한 때로부터 1년이 경과하더라도 울산광역시가 수상자의 사후관리나 중앙의 경진대회에 추천할 경우 본인 동의를 얻어 개인정보를 관련기관에 제공할 수 있습니다.

2025 년 월 일

울산광역시장 귀하

[서식3]

참 가 자 서 약 서

참여구분	<input type="checkbox"/> 개인	<input type="checkbox"/> 팀(공동)	<input type="checkbox"/> 기업
작 품 명			
팀 명			
성 명		전화번호	
주 소			

본인은 울산광역시에서 개최하는 『2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전』 출품작에 대해 아래의 사항을 위배한 사실이 없음을 확인하고, 허위사실 기재 등으로 인하여 어떠한 문제가 발생했을 시 모든 책임은 본인에게 있음을 확인합니다.

1. 대회의 제반 규정을 준수하며, 이를 준수하지 않을 경우 어떠한 조치도 감수하겠음
2. 출품작이 타 기관 공모전(중앙부처, 지자체)에 입상하거나 수상 실적이 없음
3. 접수 시 출품작이 정당한 권한없이 제3자의 권리(소유권, 저작권, 이용권)를 침해하였거나 이와 관련해 분쟁(심판, 소송 등)이 발생한 사실이 없을 것이며, 이로 인하여 발생하는 민·형사상 책임은 출품자에게 있음

서약자 : 소속 성명 (서명)

울산광역시시장 귀하

[서식4]

- 2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전 - 아이디어 제안서

1 아이디어 개요

○ 작 품 명 : S.A.F.E - 지하 침하 조기 경보 시스템(Subsidence Alert via Fused Environmental-data)

1-1. 아이디어 기획 핵심내용

1. 기획 배경

1-1. 울산시 도시 기반 시설 현황



그림 1) <수소 트램>



그림 2) <울산공항>

최근 울산시는 울산트램·에어부산 재취항 사업과 같은 교통 인프라 구축 사업을 추진하여 울산시의 지속 할 수 있는 발전에 관심을 기울이고 있다. 특히 울산트램은 수소 모빌리티를 도입하는데 앞서, 고압 수소탱크·배관망을 설치하는 공사를 진행해야 한다.



그림 3) <노르웨이 수소 충전소 사고>

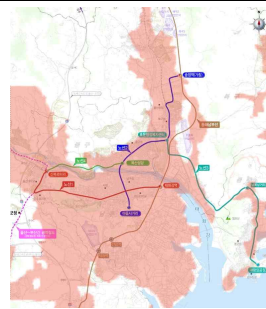
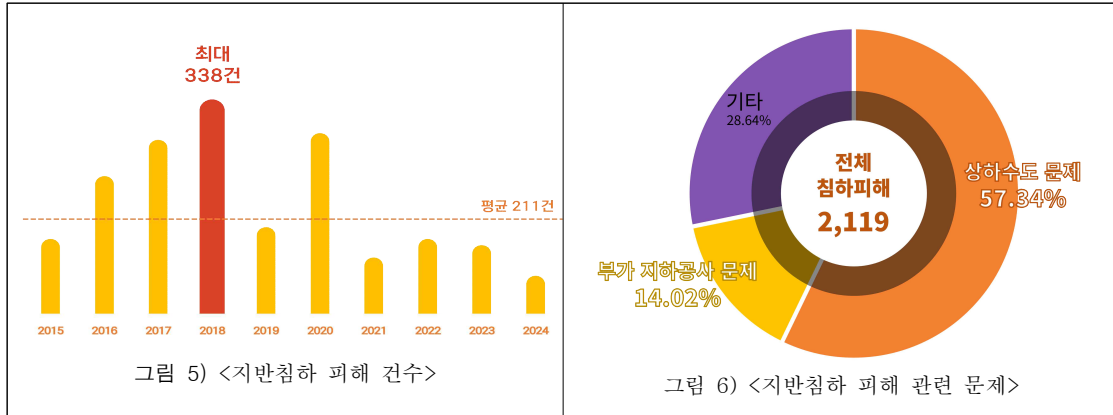


그림 4) <지반침하 위험 지반과 울산 트램 개발 예정 지역>

하지만, 울산시의 지반은 층적층으로 이루어져 있어, 지반침하에 취약하다. 수소 인프라는 이러한 지반침하 사고가 일어날 시 직접적인 타격을 받을 수 있으며, 수소가 폭발하여 인명·재산피해가 일어날 수 있다. 따라서 지반침하와 같은 재난에 신속하게 대응할 수 있는 체제가 마련되어야만 한다.

1-2. 지반침하의 위험성



지반침하 피해는 매년 수백 건씩 꾸준히 발생하고 있다. 싱크홀이 발생할 때마다 도심 핵심 인프라와 직접적으로 충돌할 뿐만 아니라, 사상자 또한 매년 발생하고 있어, 지자체에선 신경을 곤두세우고 있다. 그림 6을 보면, 하수관 손상으로 인한 피해만으로도 42.5%, 상·하수관 관련 문제만으로도 무려 57.4%를 차지할 정도로 도시 인프라에 심각한 영향을 끼친다. 따라서 작은 함몰만으로도 교통 마비·단전·단수·가스누출 위험과 같은 사고로 이어질 수 있으며, 이는 도시 기능과 시민 안전 전반에 중대한 영향을 미친다.

1-3. 기존 싱크홀 탐지/예방 시스템의 한계

종류	한계
지하탐사 확대	지반 탐사 진행률이 낮음
지하안전 컨트롤타워 설치	조사 시 외부 용역 의존도가 높음
시민 대상 점검단 운영	지반침하 징조를 식별할 수 있는 방안이 모호

울산시는 싱크홀 예방을 위해 지하탐사 확대, 지하안전 컨트롤타워 설치, 기관 간 협력 강화 등 제도적 기반을 마련해 왔다. 그러나 넓은 면적을 한 번에 살필 수 없고, 지반 침하 징후를 빠르고 간단히 확인할 장비가 부족해 현장 대응력에 한계가 드러나고 있다.

JCN 보도에 따르면 2025년 4월 기준 울산시의 지반 침하 예방 탐사 실적은 전체의 15%인 84.3km에 그친다.

같은 기간 부산시의 연평균 탐사 실적이 141km인 것과 대비되며, 울산의 지반탐사용 장비와 수행 역량이 상대적으로 부족함을 보여준다.

현재 제도는 갖추었지만 실행을 받쳐 줄 탐사 장비와 탐사 범위 확대가 관건이다. 광역 단위 탐사 능력과 신속·간편 탐지 장비를 보강하고, 컨트롤타워 중심의 일원화된 운영으로 탐사 속도와 범위를 끌어올려야 한다.

1-4. 새로운 방식의 싱크홀 탐지 솔루션이 필요한 이유



그림 7) <기존 방식의 싱크홀 탐지>

1-3에서 확인했듯이 현재 체계는 탐지 범위가 좁고 조사가 간헐적이며 데이터의 최신화·표준화가 미흡해, 도시 전역의 위험을 상시·연속으로 감시하기 어렵다. 특히 차량형 GPR은 차량이 들어갈 수 있는 구역에만 적용되어 골목·보도·이면도로를 포괄하지 못하고, 균열 감시는 표면 변화만 포착해 지하 공동 같은 근원 위험을 놓치기 쉽다. 시추·지반조사는 국소적이고 비용이 커서 연속 데이터 확보가 어려우며, 이렇게 수집된 데이터는 금방 노후화되고 포맷도 제각각이라 AI에 바로 활용하기 어렵다(그림7 참조).

이러한 한계는 단순 보완이 아니라 예방 중심의 새로운 탐지 체계로의 전환을 요구한다. 즉, 도시 전체를 빈틈없이 감시하고, 주기적으로 점검하고 상시 모니터링으로 변화를 시간 흐름에 맞춰 계속 파악할 수 있어야 한다.

이와 같은 전환이 이루어질 때 탐사 범위와 빈도가 실질적으로 확대되고 데이터의 신뢰도가 높아져, 싱크홀 위험을 사전에 포착하고 신속히 대응하며 사후 학습까지 이어지는 선순환을 구축할 수 있다.

2. 싱크홀 탐지 장비 개요

2-1. 장비 개발 목적 및 기대 효과

S.A.F.E 시스템은 다음과 같은 개발 방향을 가지고 제작하였다.

1. 소형 센서를 활용하여 누구나 빠르고 쉽게 설치할 수 있어야 한다.
2. 시민 생명·산업단지 안전을 위협하는 지반침하 문제를 선제 대응할 수 있어야 한다.
3. 실시간 감지 데이터 공개를 통한 시민 불안을 해소할 수 있어야 한다.

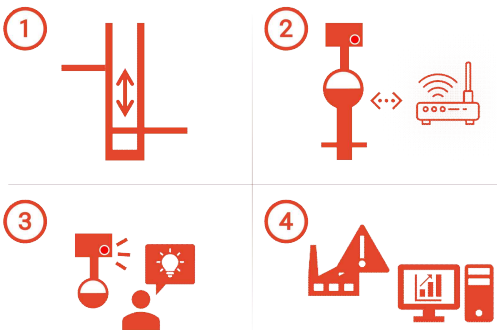
이로 인한 기대 효과는 다음과 같다.

기대 효과	내용
경제적 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 장비 대비 다양한 지역에서 쓰일 수 있는 범용성 - 유지비용을 절약하며 실시간 감지 데이터 수집 가능
행정적 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 정부의 행정 자동화 및 디지털트윈·지하 안전법과 연계 가능 - 별도의 데이터 가공 없이 넓은 지역의 침하 위험을 예측할 수 있음
시민 연계 효과	<ul style="list-style-type: none"> - LED 센서를 통한 시각적 알람으로 시민이 직접 안전상태 확인 가능 - 기업, 민간이 참여할 수 있는 시스템으로, 정부·시민 협력망 구축 가능
환경적 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 조기 감지로 지하수 및 식수 오염을 사전 차단 - 대규모 복구 공사를 효율적으로 진행하여 탄소배출 절감

이 아이디어는 경제성·행정효율·시민 연계·환경 지속성 시스템으로 발전하는 것을 목표로 하고 있고, 기대 효과는 기존의 사후관리 위주의 시스템에서 예방 중심의 도시 안전 관리로 전환할 수 있는 발판을 마련하는 것이다.

2-2. S.A.F.E 시스템 주요 기능

S.A.F.E 시스템은 다음과 같은 주요 기능을 가지고 있다.

 <p>그림 8) <주요 기능></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 고저차를 이용한 침하량 감지 2. LoRA를 이용해 센서·서버의 데이터 교류 3. LED를 통한 직관적인 경고 방식 4. 현장 경고와 동시에 데이터 분석
--	---

위와 같은 기능을 통해, S.A.F.E 시스템은 지반침하를 조기 감지하여 예방할 수 있는 시스템을 가질 수 있다.

3. 하드웨어 및 소프트웨어 구조

3-1. 주요 부품과 스펙 사항

㉠ 센서 모듈 스펙

분류	부품	기능
보드	Arduino UNO 3	센서·데이터 처리·LED/LoRA 제어
하중 센서	로드셀 20kg	압력→전기 신호 변환
증폭	HX711	로드셀 mV 신호 증폭·디지털화
표시	RGB LED+ 저항 330Ω×3	침하율을 색상으로 표시
무선	LoRa RFM95	원거리 데이터 전송
전원	Li-Po 2S (7.4 V) 팩	이동형 전원 공급

㉢ 회로도 및 도안

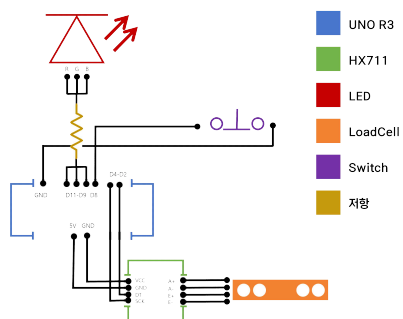


그림 9) <회로도>

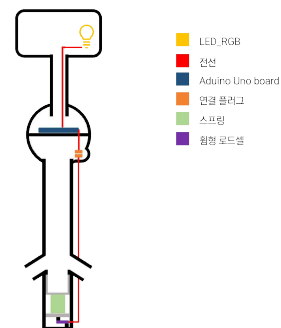
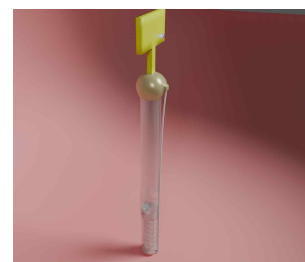


그림 10) <도안>

㉣ 제품 시뮬레이션



<정면-안전>



<반측면-안전>



<정면-주의>



<정면-경보>

㉔ 자체 명세서

번호	품명	소요량	단가(원)	가격(원)
1	아두이노 우노	1	7,500	7,500
2	저항	3	1,500	4,500
3	LED	1	3,500	3,500
4	로드셀	1	83,000	83,000
5	PVC VG1 6m	1	40,000	40,000
6	LoRa	1	25,000	25,000
7	스위치	1	3,000	3,000
8	증폭기	1	5,000	5,000
9	전선 20m	1	7,600	7,600
10	연결 플러그 묶음	1	4,000	4,000

3-2. 소프트웨어 관리/분석 시스템

현장 센서가 지반침하와 관련된 미가공 데이터를 측정하면, 캡슐 내부 회로에서 5~10분 간격으로 데이터를 가공한다. 센서에서 받은 데이터는 LoRa를 통해 MQTT로 데이터를 수집한다. MQTT 내부에서 가공된 데이터는 DB 서버에 저장하고, 미가공 데이터/상태 데이터는 로그로 분류되어 각각의 채널로 데이터를 전송한다.

이를 통해 본부에선 침하와 관련된 데이터를 5~10분 간격으로 수집할 수 있고, 유사시 로그 데이터를 이용하여 센서 이상으로 인한 초기 값 변조를 방지할 수 있다.

㉕ 장치 계층

분류	기능
측정 항목	로드셀 하중값, 지표면과의 차이, 배터리 전압, 기기 상태
샘플링	10초 간격 데이터 수집, 장치에서 전처리
이상 트리거	침하 이상 징후 포착(예: 지표와의 거리가 10cm 이상) 또는 임계 값 초과일 경우 즉시 정보
시간 동기화	설치/재부팅 시 3Way Handshaking 완료 이후 오프셋 보정
무게 동기화	측정부 토사 삽입시 토사 삽입 후 무게값을 기준으로 보정

㉖ 무선 전송 계층

분류	기능
대역/클래스	KR920-923MHz(한국 전용 LoRa 채널), Class A 단말, ADR 활성화
업링크	정기 업링크 : 10분 주기 이벤트 업링크 : 이상 탐지 즉시 송신(쿨다운 1분)
다운링크	임계치/주기/펌웨어 설정 변경, 장치 기준값 원격 캘리브레이션 명령 실시
전력	배터리 6-12개월 목표(전송 전 압축·요약)

㉔ 수집·적재 스트림 파이프라인

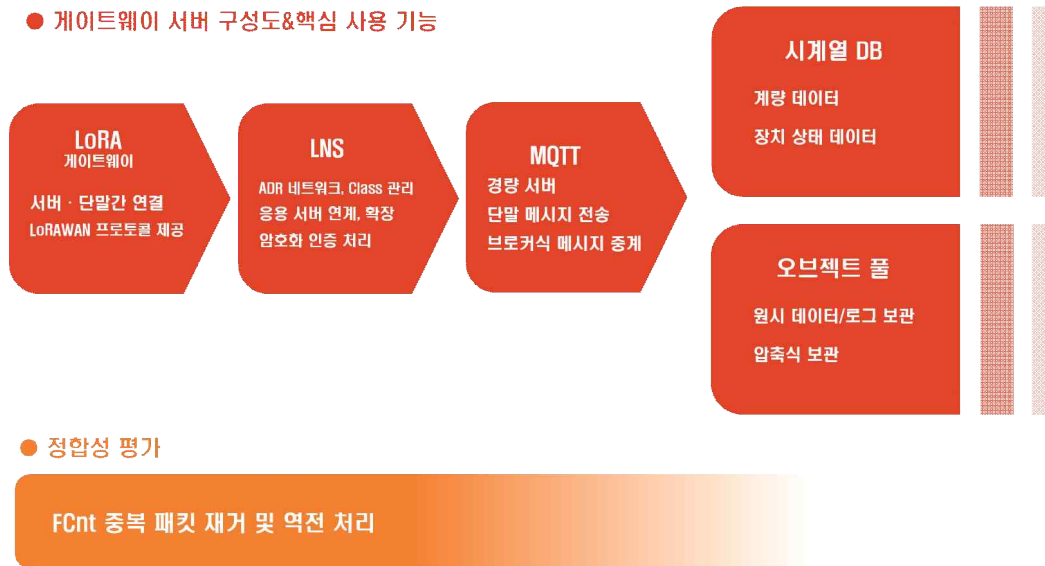


그림 11) <데이터 전송 파이프라인>

㉕ 데이터의 가공·분석·경보

데이터 가공

- 폭의 법칙을 이용한 지반침하 변위 측정
- 삼각함수·지렛대의 원리를 이용한 기울기 근삿값 계측

소프트웨어 경보 흐름도



AI 분석 시스템 적용 방안

```
# ===== 1) Imports & Utils =====
import numpy as np
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import layers, models, callbacks
# 랜덤시드 생성
tf.random.set_seed(42)
np.random.seed(42)
# 이상현상 범위값 스케일링
def robust_minmax(x, low, high, eps=1e-6):
    x = (x - low) / (high - low + eps)
    return np.clip(x, 0.0, 1.0)
# 경보 히스테리시스 로직
def update_alert_level(prev_level, score):
    # 상승 임계치 / 하강 임계치
    up = [0.30, 0.60, 0.85]
    down = [0.25, 0.55, 0.80]
    level = prev_level
    if prev_level == 0 and score >= up[0]: level = 1
    if prev_level == 1:
        if score >= up[1]: level = 2
        elif score < down[0]: level = 0
    if prev_level == 2:
        if score >= up[2]: level = 3
        elif score < down[1]: level = 1
    if prev_level == 3 and score < down[2]: level = 2
    return level
# ===== 2) 데이터 형태 가정 =====
# X_time: (N, T=72, F=4) 시계열 입력
# (예: 수위, 지중변위, 진동, 강우 등)
# X_static: (N, S) 정적
# 특성(지반/토질/매설관/연식 등) - 없으면 None로
# y_risk: (N, 1) "앞으로 24시간 최대 위험도" 또는 발생확률(0~1 정규화)
#
# 아래는 더미 예시. 실제 데이터로 교체하세요.
N, T, F = 5000, 72, 4
S = 10
X_time = np.random.rand(N, T, F).astype(np.float32)
X_static = np.random.rand(N, S).astype(np.float32)
y_risk = np.random.rand(N, 1).astype(np.float32)
```

```
# 학습, 검증 분할
idx = int(N * 0.8)
X_time_tr, X_time_val = X_time[:idx], X_time[idx:]
X_static_tr, X_static_val = X_static[:idx], X_static[idx:]
y_tr, y_val = y_risk[:idx], y_risk[idx:]
# ===== 3) 모델 A: LSTM 예측기 (시계열 + 정적 특성 결합) =====
def build_forecaster(T=72, F=4, S=10):
    inp_seq = layers.Input(shape=(T, F), name="seq")
    x = layers.Masking(mask_value=0.0)(inp_seq)
    x = layers.LSTM(64, return_sequences=True)(x)
    x = layers.Dropout(0.3)(x)
    x = layers.LSTM(32)(x)
    x = layers.Dropout(0.3)(x)
    seq_emb = layers.Dense(32, activation="relu")(x)
    inp_static = layers.Input(shape=(S,), name="static")
    s = layers.Dense(32, activation="relu")(inp_static)
    s = layers.Dropout(0.2)(s)
    h = layers.Concatenate()([seq_emb, s])
    h = layers.Dense(32, activation="relu")(h)
    h = layers.Dropout(0.2)(h)
    # 0~1 위험도 점수
    out = layers.Dense(1, activation="sigmoid", name="risk")(h)
    model = models.Model([inp_seq, inp_static], out, name="forecaster")
    model.compile(optimizer="adam", loss="mse", metrics=["mae"])
    return model
forecaster = build_forecaster(T, F, S)
history_f = forecaster.fit([X_time_tr, X_static_tr], y_tr, validation_data=(X_time_val, X_static_val, y_val), epochs=10, batch_size=128, callbacks=[callbacks.EarlyStopping(patience=3, restore_best_weights=True)])
```

```

# MC Dropout 예측(불확실성까지, 선택)
def mc_predict(model, x_seq, x_stat,
n=20):
preds =[]
    for n in range(n):
y =model([x_seq, x_stat],
training=True) # Dropout 활성화
preds.append(y.numpy())
preds =np.stack(preds, axis=0) # (n,
B, 1)

returnpreds.mean(axis=0).squeeze(-1),
preds.std(axis=0).squeeze(-1)
# ===== 4) 모델 B: LSTM
오토인코더(이상탐지) =====
def build_lstm_autoencoder(T=72, F=4):
inp =layers.Input(shape=(T, F))
    # Encoder
x =layers.LSTM(64,
return_sequences=True)(inp)
x =layers.LSTM(32)(x)
z =layers.Dense(16,
activation="relu")(x)
    # Decoder
d =layers.RepeatVector(T)(z)
d =layers.LSTM(32,
return_sequences=True)(d)
d =layers.LSTM(64,
return_sequences=True)(d)
out
=layers.TimeDistributed(layers.Dense(F
))(d)
=models.Model(inp, out,
name="lstm_ae")
ae.compile(optimizer="adam",
loss="mae")
    returnae
autoenc =build_lstm_autoencoder(T, F)
# 정상(또는 상대적으로 이상이 발견되지
않은) 구간으로 학습하는 것이 좋음
# 위 예제는 전체 학습 데이터를 사용.
실제는 라벨/도메인지식으로 정상 구간만
선택해 학습 추천
history_ae =autoenc.fit(
X_time_tr, X_time_tr,
validation_data=(X_time_val,
X_time_val),
epochs=10, batch_size=128,

callbacks=[callbacks.EarlyStopping(pat
ience=3, restore_best_weights=True)]
)

```

```

# 검증셋에서 재구성 오차 분포로
임계값/스케일 산출
recon_val =autoenc.predict(X_time_val,
batch_size=256)
err_val =np.mean(np.abs(recon_val
-X_time_val), axis=(1,2)) # MAE
per-sample
p95 =np.percentile(err_val, 95) #
상위 5% 기준
p50 =np.percentile(err_val, 50)
# ===== 5) 추론 파이프라인(결합 점수 →
경보) =====
# 단일 샘플 예시
sample_seq =np.random.rand(1, T,
F).astype(np.float32)
sample_static =np.random.rand(1,
S).astype(np.float32)
# (A) 예측 위험도
risk_mean, risk_std
=mc_predict(forecaster, sample_seq,
sample_static, n=20) # shape: (1,),
(1,)
risk_mean
=float(risk_mean[0])ifnp.ndim(risk_mea
n)>0 else float(risk_mean)
# (B) 이상 점수(정규화)
recon =autoenc.predict(sample_seq)
err =float(np.mean(np.abs(recon
-sample_seq)))
anomaly_score =robust_minmax(err, p50,
p95) # 0~1 스케일
# (C) 결합 & 경보
w_pred, w_anom =0.6, 0.4
final_score =w_pred *risk_mean +w_anom
*anomaly_score
prev_level =0 # 직전 경보 단계(시스템
상태에서 유지)
level =update_alert_level(prev_level,
final_score)
print({
    "risk_pred": risk_mean,
# 예측 기반 점수(0~1)
    "anomaly_score": anomaly_score,
# 이상탐지 점수(0~1)
    "final_score": final_score,
# 융합 점수
    "alert_level": level
#
0=정상, 1=주의, 2=경계, 3=심각
})

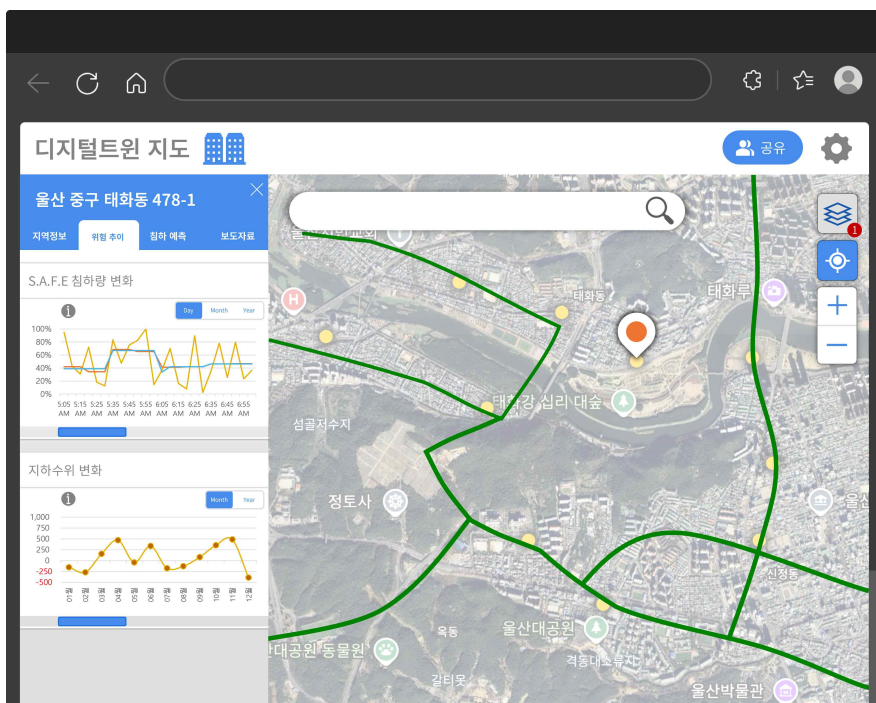
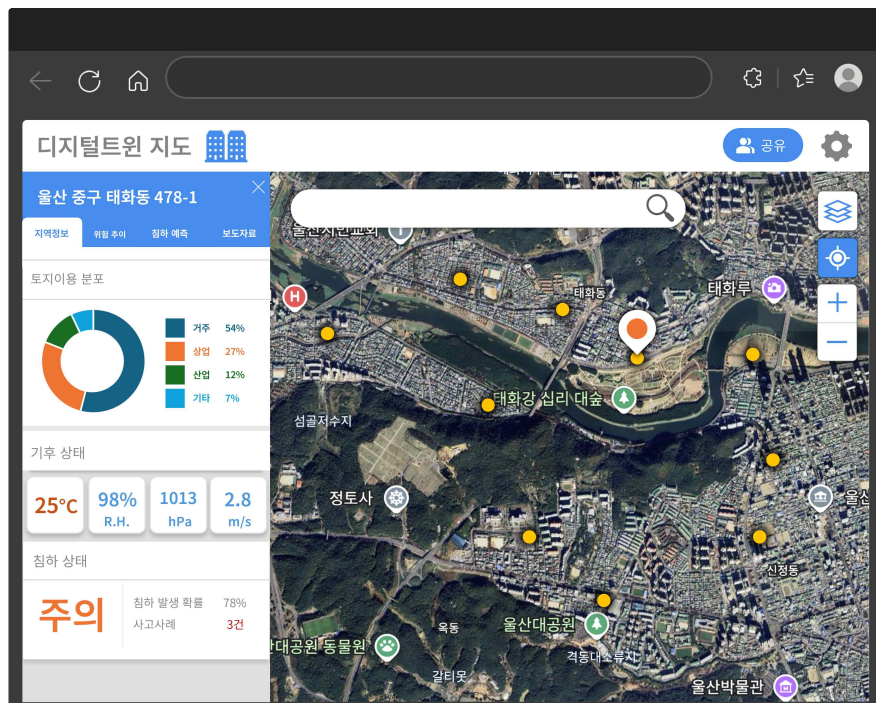
```

4. 서비스 개요

4-1. 서비스 아키텍처 요약

외부 사용자는 서비스의 복잡한 센서·네트워크 구조를 드러내지 않고도, 쉽게 활용할 수 있는 직관적인 데이터를 이용할 수 있다.

이를 위해 서비스 아키텍처는 지도·알림·통계·API 연동이라는 네 가지 축을 중심으로 하여 사용자에게 통합 자료를 시각적인 자료들을 제공해줄 수 있다.



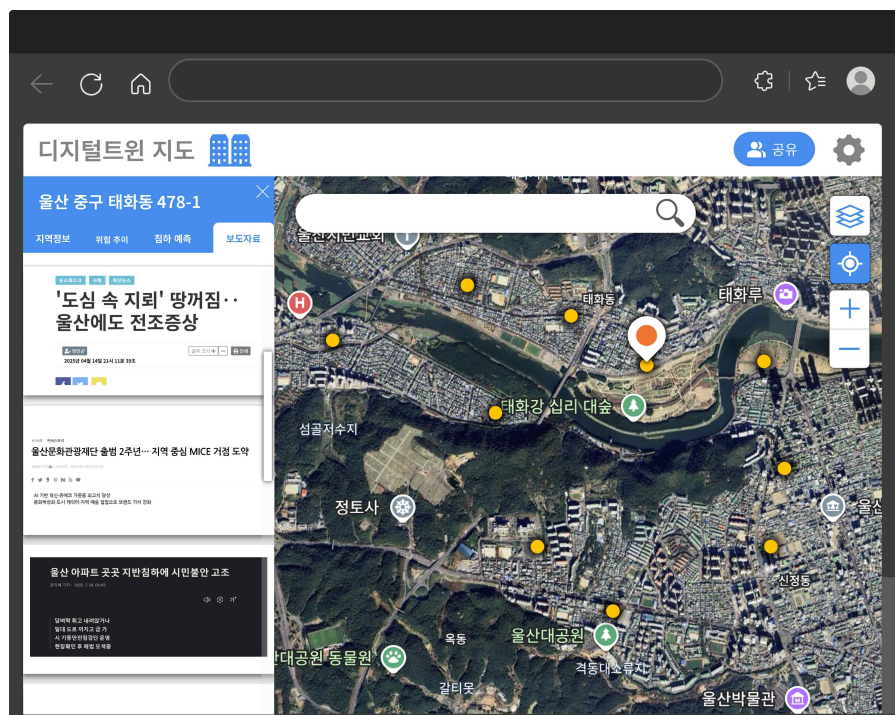
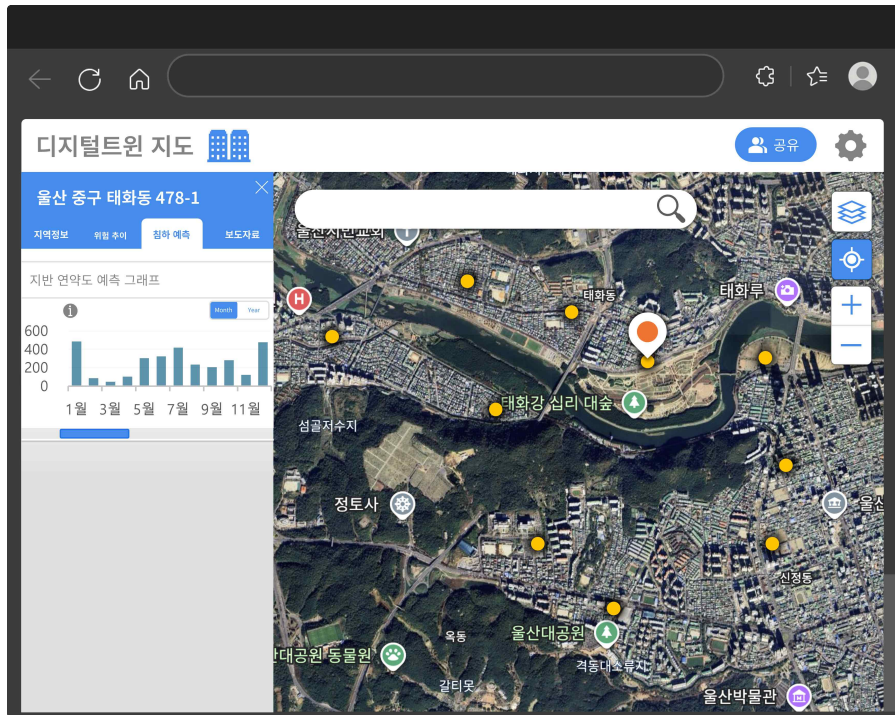


그림 12) <디지털 트윈 웹 서비스 응용 예시>

4-2. 운용 시나리오

㉠ 기반시설 공사 구간

요약	상세
공사 위험 체크포인트 리스트 작성	<ul style="list-style-type: none"> - 지반 침하가 인프라에 직접적인 영향을 미치는 구역을 토대로 설치스팟 생성 (예: 도시가스 매설관, 수소 연결관, 하수도관)
위험 구간 사각지역 생성	<ul style="list-style-type: none"> - 각 체크포인트 또는 인접한 체크포인트를 묶어 지반 침하 검침 효율을 극대화할 수 있는 포인트를 선발 - Vehicle Routing Problem 알고리즘을 배관·건축의 에지 부분과 연결시켜, 다각형 모형을 제작 - VRP로 생성한 다각형 모델에서 교차하는 부분, 버텍스를 기준으로 타공 스팟을 선정
장치 매설	<ul style="list-style-type: none"> - 선정된 스팟에 장치를 타공 - 타공 후 지반의 높이만큼 토사를 내부에 채움 - 토사를 채운 후 무게를 측정하여 초기화
지반 침하 징후 발생	<ul style="list-style-type: none"> - 위험도에 따라 Blue, Yellow, Red 형식으로 LED 작동 - Blue단계: 10분 간격으로 측정, 이벤트 시스템 비활성화 - Yellow단계: 10분 간격으로 측정, 이벤트 시스템 활성화 - Red단계: 5분 간격으로 측정, 분당 Ratio를 서버로 전송
컨트롤 스팟에서 데이터 수집	<ul style="list-style-type: none"> - Yellow~Red 단계 시 실시간으로 모니터링할 수 있는 서비스 제공 - 현장 감독자들에게 수치 값 전파 및 대피 지시

⑥ 상하수도 노후 구간

요약	상세
대상 구간 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 노후 상·하수관(매설 25~30년 ↑, 반복 누수·민원 발생 구간)의 침하·누수로 인한 싱크홀 전조를 조기에 포착·대응한다. (예: 주거 밀집지 골목·보도·이면도로, 상수 주간선 연결부, 하수 맨홀 주변 접합부, 굴착 이력 구간)
장치 매설	<ul style="list-style-type: none"> - 선정된 스폿에 장치를 타공 - 타공 후 지반의 높이만큼 토사를 내부에 채움 - 토사를 채운 후 무게를 측정하여 초기화
현장 운영	<ul style="list-style-type: none"> - 상시 모니터링: 도시 전역 센싱·지도 대시보드로 위험지수를 실시간 표시 - 조기경보: 임계값 초과 시 자동 알림(주의/경계/심각) → 담당 부서·구청·현장반에 즉시 전파 - 우선순위 출동: 경보 레벨·민원 밀도·취약시설 여부를 결합해 출동 순서 자동 추천 - 사후평가 자동화: 보수 후 위험지수 값 정상화 여부를 추적해 점검 주기·기준선을 자동 조정
시설 유지 보수	<ul style="list-style-type: none"> - 노후 구간 선별 보수: 시나리오처럼 유량/음향/수분/변위 이상 징후를 결합해 “굴착이 필요한 지점”만 정밀 타격 - 예방 점검 주기 최적화: 파손 확률이 높은 관·포장 구간에 점검 인력과 예산을 집중 배치 - 공사 품질 검증: 보수 후 단기 모니터링으로 재발 위험을 조기 차단

1-2. 아이디어 구상 및 제안 배경에 대해서 작성

5. 울산시 인프라 분포 실태



그림 12) <울산시 산업 인프라 분포도>



그림 13) <울산 연약지반 개발 구역>

울산시의 핵심 인프라 지역은 다음과 같이 분포되어 있다.

산업단지: 울산 남구 석유화학단지, 울주 온산 석유화학단지, 북구 효문동 자동차 산업단지, 동구 방어진·화정동 조선단지

주거·생활 단지: 중구 중앙동·학성동, 남구 삼산·야음동 등 시가지 중심부에 위치, 대형 아파트 및 상업시설이 많아 통행량이 높음

교통 인프라: 경부 고속도로, 수소전기 트램 1호선 건설, 온산항·미포항·울산신항 등

이렇듯 울산시의 인프라는 중구, 남구, 동구에 집중적으로 분포한 것을 알 수 있다.

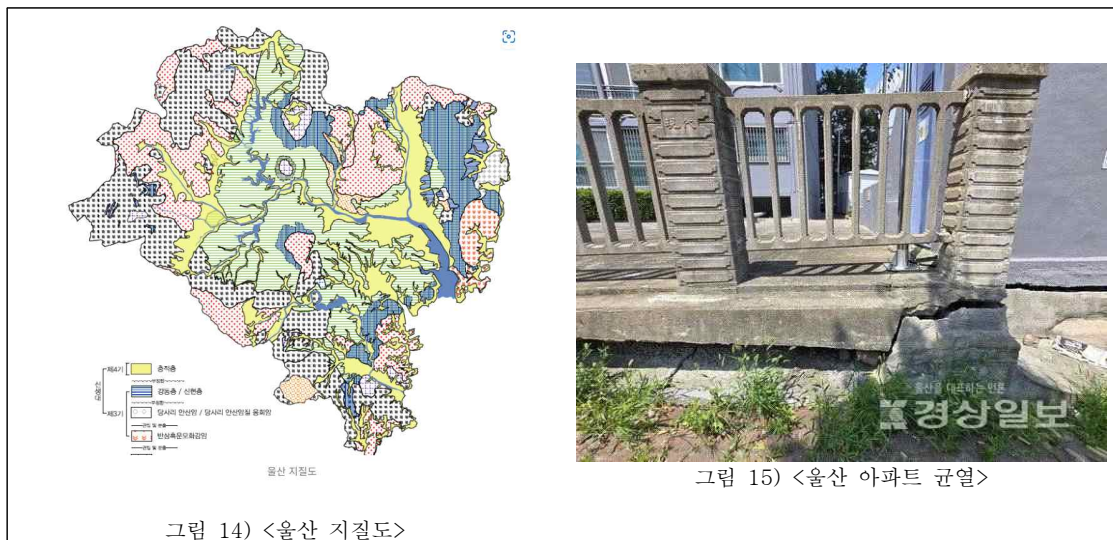


그림 14) <울산 지질도>



그림 15) <울산 아파트 균열>

반면에, 울산시의 지질은 연약지반인 충적층과 신안층으로 이루어져 있어 지반침하에 취약하다. 특히, 태화강 일대와 울산 남구에선 지반침하의 징후인 크랙이 발생하고 있어 주민들이 불안해하고 있다.

이처럼 울산시는 각종 인프라와 연약지반이 맞물려 있어, 도시계획을 세우기 위해 지반 안전 대책이 필요한 상황이다. 울산시는 최근 노후 하수관로 점검, 지하 안전 관리체계를 강화하며 '지반침하 사전 예방'을 강조하고 있다. 앞으로 스마트시티 사업으로 확장하기 위해서는 지반 분포와 위험 수준을 고려할 수 있는 시스템이 필요하고, 연약 지반 위 설치하는 대형 공사·시설에 대해서 추가 시공 기준이 필요한

상황이다.

6. S.A.F.E 시스템 배치 시뮬레이션

5에서 설명했듯, 울산시의 노후된 지하 인프라는 지반침하의 위험을 높이고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 실시간 감시와 현장 대응이 가능한 새로운 시스템이 필요하다. 이에 따라 본 시뮬레이션은 S.A.F.E 시스템을 공사 현장에 배치했을 경우의 작동 원리와 효과를 네트워크적 측면에서 가정하여 설명한다.

S.A.F.E 시스템은 지반에 장비를 매설하고, LoRA 모듈을 통해 5~10분 간격으로 지반 침하 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 MQTT 프로토콜을 거쳐 서버로 전송되며, 도시 전역을 표시하는 디지털 트윈 지도에서 실시간 모니터링이 이루어진다

- 실시간 대응: 데이터가 임계값을 초과하면 즉시 부서·구청·현장으로 전파되어 경보 수준에 맞는 초동 대응을 신속하게 한다.
- 사전 예방: 사고 발생 전 노후 구간을 선별해서 보수하고, 과거 사고 지역의 재발 위험도 조기에 파악할 수 있다
- 민관 협력: 장치의 LED 센서를 통해 현장 인원 및 일반 시민도 위험을 즉시 확인할 수 있어, 관공서와 시민이 함께 대응할 수 있다.

만약 최근 울산 남구 공업탑 인근에서 발생한 싱크홀 사건에서 S.A.F.E 시스템이 도입되었다면, 우수관로 파손 문제가 발생하기 이전에 지반 변화를 감지해 미리 보수할 수 있었을 것이다. 이는 S.A.F.E 시스템이 지반침하를 사전에 예측·차단하는 핵심 수단으로 사용할 수 있음을 보여준다.

1-3. 기존 앱/웹과의 독창성 및 차별성

7. 높은 유틸성

현재 사용되는 시스템은 대부분 단일 목적(예: 지하수위 모니터링, 건축물 안전 점검 등)으로 제한적으로 사용되고 있다. 이는 다양한 생활 영역에서 발생하는 재난 사고를 일부 감지할 수 있어, 실생활 사고에 대응하기에는 연관성이 떨어진다.

S.A.F.E 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있어 실생활 사고에 활용할 수 있게 설계되었다.

다목적 데이터 활용	침하 데이터 외에도 상수도 누수, 지하매설물 안전관리, 도로 포트홀 가능성 측정까지 다양하게 확장 가능하다.
실시간 대응성	LoRA 기반의 저전력 센서망으로도 5~10분 단위의 데이터 수집이 가능하여 실시간 경보 체계를 제공한다.
생활 편의성 강화	경보 이외에도 앱/웹을 이용하여 대피소 위치, 교통 우회로, 응급 연락처 등도 안내할 수 있다

8. 정보전달의 공평성

기존 앱·웹 기반 안전관리 서비스들은 주로 전문 인력을 위한 플랫폼에 치중되어 있어, 일반 시민이 직접 활용하기에는 접근성이 낮았다. 이로 인해 노약자나 저소득층은 재난 발생 시 필요한 정보를 적시에 얻지 못하는 경우가 많았고, 사회적 안전망의 사각지대를 드러내게 되었다.

S.A.F.E 시스템은 별도의 장비나 복잡한 앱 설치 없이도 LED 경보등을 통해 위험 단계를 직관적으로 확인할 수 있어 접근성이 매우 뛰어나다. 현장에서 즉시 대응할 수 있을 뿐만 아니라, 언어 장벽이 있는 외국인 여행객·노동자도 색상 신호만으로 위험 수준을 쉽게 파악할 수 있어 외국인 피해를 예방할 수 있다.

또한 S.A.F.E 시스템에서 측정한 데이터는 시민에게 공유되는 구조를 가지고 있다. 예를 들어, 시민 기동 안전 점검단이 S.A.F.E 시스템이 설치된 지역을 순회하여 조사한 정보를 축적하면, 침하 위험 구역에 대한 신뢰도 높은 데이터를 수집할 수 있다. 이는 민간·정부의 협력 체계를 강화하고, 도시 운영·유지 관리를 효과적으로 할 수 있으며, 정책 결정 시에도 활용할 수 있는 통합 자료를 제공한다.

결국 S.A.F.E 시스템은 시민 누구나 쉽게 접근할 수 있는 안전관리 도구로써, 사회적 약자와 외국인을 포용하는 재난 대응 체계를 마련한다. 동시에 시민 참여를 유도하고 데이터를 공유하여 민·관 협력 기반의 도시 안전망을 구축하고, 나아가 지속 가능한 도시 운영을 지원하는 핵심 인프라로 자리잡을 수 있다.

9. 타 정책과의 연계 가능성

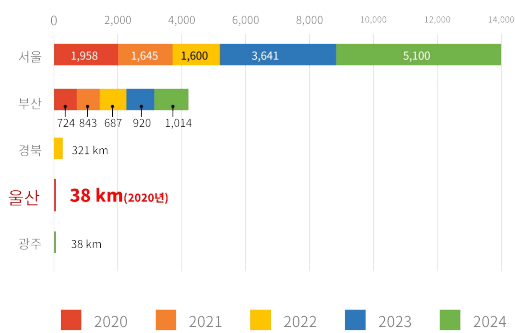


그림 16) <울산시의 지하 현장조사 실적>

부산시	울산시
지하공간통합지도 시범도시 지 하 공 간 통 합 지 도 시범구축에 참여해, 다부처·다기관 데이터를 지도-플랫폼으로 묶는 기반이 마련.	위험지도 연동 S.A.F.E에 CDI 기반 위험지도를 붙여 스마트시티 허브/디지털 트윈과 상시 동기화.

<부산시 선례를 활용한 울산시 고유의 탐사방향
예시>

기존 시스템은 개별 사업·지자체 단위로 많은 편차가 존재한다. 소방청의 지반탐사 실태를 보면 울산은 6km밖에 탐사되지 않아 전체 관로와 도로망의 현황을 파악하기 매우 힘들다. 따라서 울산시에서 스마트시티, 재난 안전, 디지털 트윈 정책을 시행하기 위한 연계를 하기 어려운 상태이다. 그러나, S.A.F.E 시스템은 실시간 데이터의 수집·가공·전송을 제공함으로써, 기존에 사용하던 정책에 바로 적용하기 쉽다.

스마트시티 플랫폼 연계	울산시의 스마트시티 데이터 허브와 연계하여 교통·환경·재난 데이터를 통합 분석 가능
재난안전 정책 지원	행정안전부의 지하안전 관리계획 및 국토부의 지하공간통합지도와 연계하여 과학적 근거 자료로써 정책 수립을 지원
보험·복지 연계	위험도가 높은 지역 주민들을 대상으로 한 재난보험료 지원 정책, 취약계층 안전 보조금 지원과 연결되어 사회적 안전망을 강화
국민참여형 확장	시민 제보 기능을 추가하면 지반, 균열 발생 시 바로 감지할 수 있는 재난 감시 체계를 만들 수 있음

따라서 S.A.F.E 시스템은 울산시의 낮은 지반조사 실태를 보완하고, 스마트시티·재난 안전·복지 정책과 쉽게 연동될 수 있어, 단순한 안전 관리 도구보다 도시 전체의 지속 가능한 발전에 이바지할 수 있는 인프라가 될 수 있다.

2 아이디어 사업화

2-1. 아이디어의 시장성 및 실현 가능성(발전가능성)

10. 아이디어의 사업성

S.A.F.E 시스템은 지자체 건설관리부서 및 산업통상자원부 등 국가·공공 인증을 획득하고, 관련 법제화 및 표준화를 통해 공사 및 건설 현장에 필수 안전 장치로 적용할 수 있는 잠재력을 지니고 있다.

또한 현장의 규모와 특성에 따라 설치 개수를 유연하게 조절할 수 있으며, 타공 후관을 삽입하하고 무게 변화를 LED로 즉시 확인하는 방식은 높은 실용성과 상용화 가능성을 기대할 수 있다.

표1) <울산시 및 전국 지반침하 방지 사업 개요>

사업명	지역	기간	투자 비용
노후 하수관로 교체 및 정비	울산시	2020년까지	1,071억 원
지하배관 통합안전관리센터 건립	울산시	2025년 준공	156억 원
지반탐사 사업	울산시	2017년	약 1억 원
지반 안전 대비 사업	울산시	2025년	4억 원
전국 하수관로 및 도로 개보수	전국	2025년	1259억 원
전국 지반탐사	전국	2025년	30억 원

표2) <소프트웨어 운영비>

항목	구성	월 비용
클라우드 서버(애플리케이션)	중사양 2대	180,000원
데이터베이스(DB, 관리형)	1식	120,000원
메시지 브로커(MQTT)	1식	30,000원
스토리지/백업(오브젝트 + 스냅샷)	1식	70,000원
모니터링/로그 수집, 보관(90일)	1식	25,000원
네트워크/트래픽(대역폭)	1건	5,000원
예비비(변동/중성 5%)		25,000원

표3) <요구사항 명세서>

번호	품명	소요량	단가(원)	가격(원)
1	아두이노 우노	1	7,500	7,500
2	저항	3	1,500	4,500
3	LED	1	3,500	3,500
4	로드셀	1	83,000	83,000
5	PVC VG1 6m	1	40,000	40,000
6	LoRa	1	25,000	25,000
7	스위치	1	3,000	3,000
8	증폭기	1	5,000	5,000
9	전선 20m	1	7,600	7,600
10	연결 플러그 뭉음	1	4,000	4,000

표3 <요구자재 명세서>와 표2<소프트웨어 운영비>를 기준으로, 시제품 1대 제작 단가를 계산하면

- 하드웨어 자재비: 약 245,000원
- 소프트웨어/운영비: 약 월 500,000원

위 가격을 바탕으로, 시제품 10대를 샘플링하여 구축하면

- 초기 자재비: 약 250만 원 내외
- 월 소프트웨어 운영비: 연간 600~850만 원 수준

이는 표1 <울산시 및 전국 지반침하 방지 사업 개요>의 인프라 대체 사업과 비교했을 때, 초기 비용이 1000분의 1 수준이므로, 사업화 경쟁력이 높다.

따라서 S.A.F.E 시스템은 수백억 원 규모의 대규모 토목사업에 비해서 1% 수준의 비용으로 구축할 수 있으며, 높은 정책 호환성을 통해 스마트시티·재난안전 정책에 즉시 활용할 수 있는 경쟁력을 가진다.

2-2. 아이디어의 실현에 따른 파급(기대)효과(발전가능성)

11. 아이디어의 기대 효과

S.A.F.E 시스템은 단순한 기술 도입을 넘어, 사회 전반에 긍정적인 변화를 일으킬 수 있다. S.A.F.E 시스템은 현장에 적용하면 기존의 복잡한 절차를 간략하게 하며, 안전성과 효율성을 동시에 확보할 수 있는 혁신적인 대안이 된다.

㉠ 안전관리 혁신

건설 현장에 S.A.F.E 시스템을 도입하면 싱크홀 안전관리 과정에서 사용했던 복잡한 장비와 전문인력들이 없어도 간소하고 효율적으로 관리할 수 있게 된다. 이를 통해 이를 통해 시민의 안전을 보장하고 불안 요소를 최소화하며, 돌발 상황 발생 시 신속하게 대응할 수 있는 체계를 마련할 수 있다. 또한 민원 발생 빈도를 줄이고 행정 관리 비용을 절감하는 효과도 기대할 수 있다.

⑥ 활용 분야 확장성

LoRA 기반 센서망은 지반침하 탐지에 국한되지 않고, 상수도 누수, 포트홀, 매설관 안전관리 등 다양한 분야에 활용될 수 있다. 또한, 경보 기능과 시민 신고제를 시행하면 데이터의 활용도가 높아지며, 민·관 협력 체계도 강화될 수 있다. 울산에서 성공적으로 검증된 이후에는 타 지자체, 산업단지, 항만으로 확산하여, 지반침하 우수 사례·국가 표준 모델로 자리 잡을 수 있다.

㉓ 지역 산업·경제 파급 효과

S.A.F.E 시스템은 지역 경제와 산업 생태계에도 긍정적 영향을 미친다. 센서 제작, 설치, 운영, 유지보수 등 다양한 과정에서 신규 일자리가 창출되고, 중소기업 및 스타트업의 참여 기회가 확대된다. 또한 데이터 과학자, IoT 전문가, 안전 관리 컨설턴트 등 전문 인력의 유입을 이끌어 울산의 스마트시티 사업에 활력을 넣을 수 있다.

종합하면, S.A.F.E 시스템은 안전 관리 혁신, 활용 분야의 확장성, 지역 산업·경제 활성화라는 세 가지 효과를 동시에 실현할 수 있다. 이는 단순한 안전 관리 도구를 넘어, 도시의 지속할 수 있는 발전을 이끌고 사회 전반의 신뢰와 경쟁력을 높이는 핵심 인프라로 자리잡을 수 있다.