

기능명세서

지반 침하 모니터링을 위한 삽입형 매설물 경보 시스템

최범규
김다빈
박준규
강동협
손영빈

Team

Sinkhole

목차

1. 개발 배경

사례

2. 작품 설명

설계 목적

설계안

의의

한계

3. 제작 일정

일정표

개요

프로젝트명	지반 침하 모니터링을 위한 삽입형 매설물 경보 시스템
개발 기간	2025년 7월 1일 - 2025년 8월 20일
공모전명	2025년 울산 디지털 트윈 활용 아이디어 공모전
소요 예산	최대 50000원
개발 목적	<ul style="list-style-type: none">- AI 융합 전공 학생들 대회 경험 제공- 선임 학생들의 대회 경험 인계- 선임 학생들의 협업 경험 제공
개발 범위	<ul style="list-style-type: none">- 아두이노 제작 기술- 데이터 기록을 위한 IOT 기술- 데이터 가공 수학 모델링- 발명품 설계안- 발명품 시각적 모형

01

개발 배경

근 5년간 대한민국에선 다양한 싱크홀 사고가 발생하였다. 특히 공사 현장, 도로와 같은 혼잡한 곳에서 싱크홀 사고가 발생됨에 따라 이를 해결하기 위한 방안을 마련하는 중이다.

사례

- 구리시 교문동 싱크홀 사고



- 날짜 : 2020년 8월
- 직경 : 16 X 17(m)
- 깊이 : 20 - 21(m)
- 피해 : 도로 및 상수도관 파손

- 원인

인근 **지하철 8호선 별내선 터널 굴착 공사**로 인한 지반 약화가 주요 원인

- 조치

사고 직후 인근 거주 지역민들 대피령 발령과 도로 통제

국토부 사고조사위가 원인 조사 후 4개월 후 공식 원인 발표

- 안산시 상록구 건설공사 인근 도로 붕괴 사고



- 날짜 : 2021년 1월
- 직경 : 80(m)
- 깊이 : 1(m)
- 피해 : 도로 및 건물 파손

- 원인

노후 상수도관 파열로 인한 누수로 지반 토사가 유실됨

- 조치

사고 지점 통제 및 긴급 복구 실시. 사고조사위는 구성되지 않음

- 양양군 낙산해수욕장 신축공사 현장 침하 사건



- 날짜 : 2022년 8월
- 직경 : 12 X 8(m)
- 깊이 : 5(m)
- 피해 : 편의점 건물 붕괴

- 원인

숙박시설 지하공사 부실시공으로 흙막이벽체 틈으로 지하수, 토사 유입

- 조치

공사장과 주변 건물 출입 통제

사고조사위 구성하여 시공사에 영업 정지 4개월 처분

- 광명시 일직동 신안산선 공사현장 붕괴



- 날짜 : 2025년 4월
- 직경 : 1.5(km) 추정
- 깊이 : 50(m) 추정
- 피해 : 사망 1명, 부상 1명, 시공 작업 중지

- 원인

중앙부 콘크리트 기둥 파손으로 지반 붕괴, 시공 관리 미흡

- 조치

주변 주택 643가구 대피령 발령

도로 및 공사장 전면 통제

대형 굴착공사 현장 긴급점검 실시 계획 발표

- 정리

이렇듯 근 5년동안 1건 이상의 싱크홀 사건이 계속 발생하고 있는 중이며, 정부는 ‘지하공간통합지도’를 구축하였으나, 여전히 접근이 제한적이고, 특히 건설현장에서 실시간으로 모니터링할 수 있는 방안은 여전히 마련되지 않고 있다.

02

작품 설명

• 작품명

지반 침하 모니터링을 위한 저가 설치형 시설물 및 IOT를 이용한 시각적 경고 시스템

설계 목적

공사현장 지반 침하 실태를 실시간으로 측정하고 경고하는 모니터링 시스템을 제작하여 자가 보고 시스템을 구축

Problem

- 침하 여부를 기록하는 시스템 필요
- 침하 위험지역 알림 시스템 필요
- 현장에서 바로 사용가능한 신뢰성있는 시스템 필요

Solution

- IOT 기술을 이용한 정보 수집
- LED 경보 패널 사용
- 간단한 구조의 매립형 설치물 설계

설계안

• 측정부

슬리브 구조를 응용한 스프링형 하중 감지 시스템

• 덮개

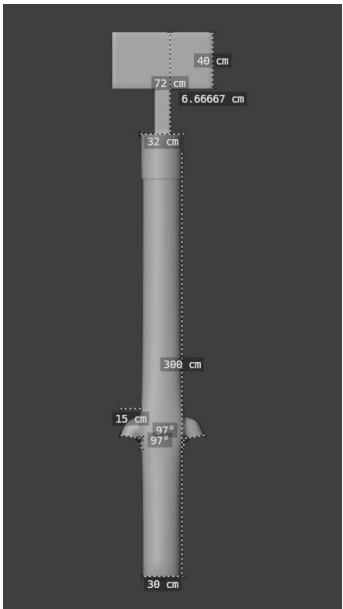
아두이노를 설치하여 플러그 형식으로 로드셀 데이터 측정
상황에 따라 내부 거리를 적외선 거리측정 센서로 실제 침하 깊이를 측정
LED 판을 설치하여 시각적으로 바로 보일 수 있게 제작 가능

• 핵심 기술

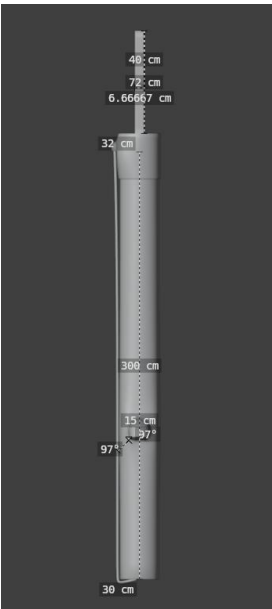
- 로드셀을 이용한 무게 측정
- LED RGB(RCBG) 센서를 이용하여 색상 표시
- 지오텍스타일 필터를 이용하여 안전성 상승
- 케이블 커넥터를 이용하여 헤더 부분 휴대 가능
- 혹의 법칙을 이용하여 변형된 길이를 측정
- (옵션) LoRa를 이용하여 서버로 계측값 전송

• 요구 품목 및 가격

Arduino Uno	12000원
저항	900원
LED RGB	80원
로드셀 + HX711	7900원
Pvc 파이프 16A, 25A	9000원
압축 스프링 3cm	6600원
우드락	10000원
모래	9000원
총계	55320원



[정면]

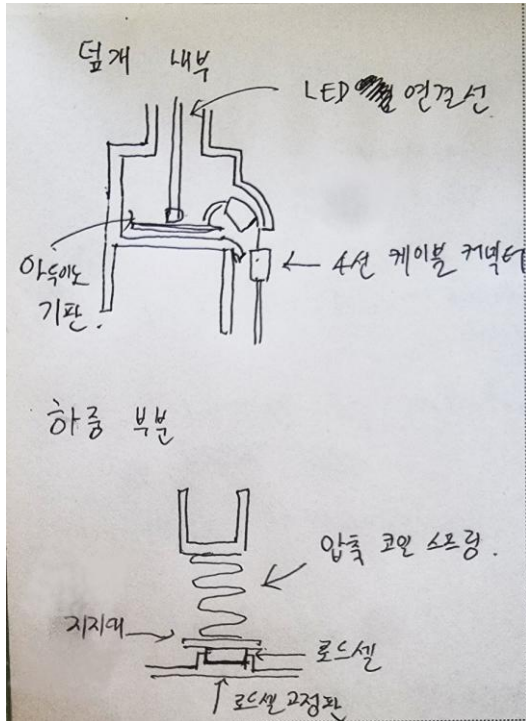


[측면]

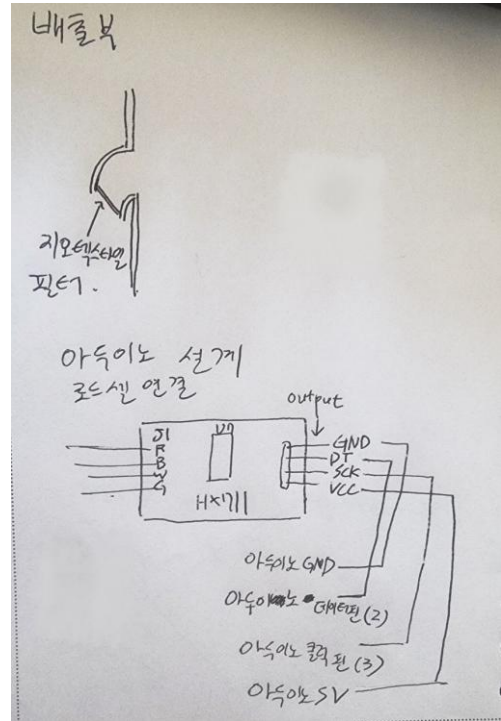


[내부]

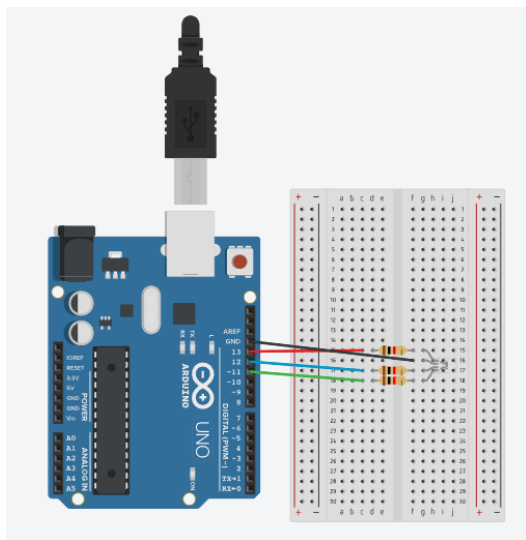
상세 스케치(뒤개와 하중)



상세 스케치(배출부와 로드셀)



아두이노 LED 연결 회로



데이터 가공 공식

가정

- 초기 무게: a (단위: kg)
- 초기 길이: b (단위: m)
- 초기 압력: c_1 (단위: N/m²)
- 측정된 압력: c_2 (단위: N/m²)
- 단면적: A (단위: m²) - 압력을 계산할 때 필요하므로 숨겨진 상수로 들어감
- 탄성률(Young's Modulus): E - 재료의 성질에 따라 정해지는 상수로 고정됨

원리

훅의 법칙에서 길이 변화량은 다음과 같이 정의됨:

$$\Delta L = \frac{F}{AE} \cdot b$$

압력은 힘을 면적으로 나눈 값이므로,

$$F = P \cdot A$$

대입하면:

$$\Delta L = \frac{P \cdot A}{AE} \cdot b = \frac{P}{E} \cdot b$$

최종 정리된 공식

$$L = b \left(1 + \frac{(c_2 - c_1)}{E} \right)$$

* 세부 규격은 실험 후 별도로 표기

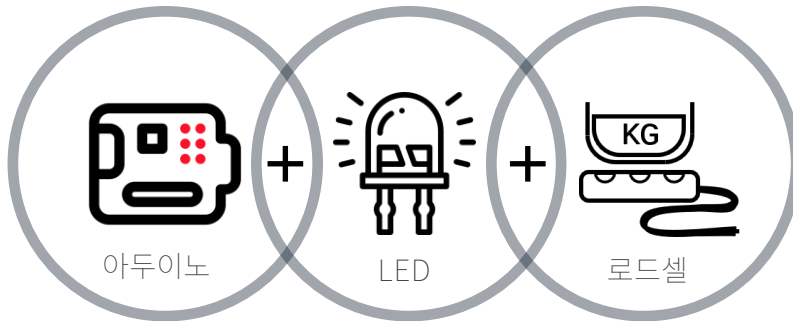
세부 사항

기능	세부 항목	디테일
설치물	파이프	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 : 70mm X 490mm - 재질 : PVC
	덮개	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 : 75mm X 200mm - 재질 : PVC - 길이 : 위에서부터 120mm까진 Uno 보드 장착 소켓 부분 - 기본 무게 값 측정 후 기록
	완충제	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 : 70mm X 30mm - 재질 : 아크릴 - 기본 무게 값 측정 후 기록
	지지판	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 : 68mm X 100mm - 재질 : 아크릴 - 기본 무게 값 측정 후 기록
	패널(브레드보드)	<ul style="list-style-type: none"> - 테스트 조건 시에는 따로 제작하지 않음(옵션) - 비례 조정 시에는 받침에 비례하여 추가 설계
센서	LED 센서	<ul style="list-style-type: none"> - LED RGB 센서를 이용하되, 패널 종류에 따라 개별 LED 센서로 변경 - 거리 200m에서도 가시성이 있도록 설계 - 안전, 경고, 위험 수치로 LED 센서를 표시
	로드셀 센서	<ul style="list-style-type: none"> - 파이프의 하단부에 고정 - 센서 고정 방법을 디자인해서 제작 - 배관 부착형 전선 보호관 설치
소프트웨어 뷰어	수치해석	<ul style="list-style-type: none"> - 흑의 법칙을 이용하여 제작하고, 상황에 따라 노멀라이징 - 수치해석은 UNO에서 처리하여 데이터를 전송시킴 - LoRA를 이용하여 데이터를 전송
	UI	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 데이터 입력 값, 데이터 전송 값을 표시하는 패널 존재 - 데이터 결과값을 출력하는 버튼 제작 - 입력, 출력 버튼 존재, 예외 처리는 단순 디버그로 표시
점검 시스템	HW 요구 기능	<ul style="list-style-type: none"> - 지중에서 기울기, 회전을 방지할 수 있는 마찰면 구조인지 점검 - 장시간 측정을 위한 전원 공급장치의 지속성 점검 - 토사 배출구의 토량 유실 정도 측정 및 구조 검토
	SW 요구 기능	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터 수집이 정상적으로 이뤄지는지 점검 - 데이터 출력 오류 시 오류 검출이 용이한지 점검 - 정상적인 해석 데이터를 클라이언트로 보내는지 점검
	환경	<ul style="list-style-type: none"> - 배관 내부의 흙은 마사토 또는 사토를 이용하여 점검 - 외부의 흙은 화산암 기반 흙을 사용하여 점검

세부 사항

기능	세부 항목	디테일
제약 조건	하드웨어 제약	- 배터리 전압 최소 6V, 최대 20V 미만
	소프트웨어 제약	- 통신은 5초 간격으로 실시
형식	입출력 조건	- 추후 테스트 후 결정하는 것이 좋으나, 모래가 팍 차 있을 때의 무게를 100으로 잡고 측정 - 70%이하면 경고, 30%이하면 위험으로 수치 작성 - 출력 단위는 kg이라 가정함 - 입력은 로드셀 위에 얹어지는 구조들의 무게들을 측정해서 삽입
SW 규격	오차 허용 범위	- +- 5g으로 계측, 실험 데이터 변화량이 작을 시 추후 수정

저가형 경보 시스템 구현



지반에 직접 삽입, 고정하는 구조 사용



IOT 기반 확장성 확보

단순 센서 이외에도 무선 데이터 전송, 서버 연동, 등 향후 확장성이 높음

공사 현장 실사용을 고려한 디자인

이동성, 설치 편의, 단순 구조 중심으로 설계되어 현장 적용성이 높음.

특히 도로 굴착, 재개발 현장 등 단기 작업 구간에 적합

내구성 부족

PVC, 폼보드 등 저가 자재를 사용하므로 장기 매설에 취약함

침하 감지의 정밀도 한계

로드셀과 스프링 기반 시스템은 정확한 깊이, 속도, 기울기 등 복합 측정 어려움. 최소 권장 길이인 10m 이상의 규격에서 정밀한 계측을 할 수 있을지 불분명

환경적 변수 미반영

실외 환경 변수에 대해서 내구성 테스트가 진행되지 않음. 방수/방진 또는 진동 차단 설계가 필요함

전력 공급의 지속성 문제

배터리, 유선 전원 등에 대해서 설계해야 함. 장시간 설치 시 전력 부족 또는 배선 등이 애로사항이 될 수 있음

가시성 한계

LED가 주야간, 안개나 우천 등에서 잘 눈에 띄지 않을 수 있음. 보조 시스템이 필요함

데이터 수집 기능

침하 발생 기록 없이 일시적 경고로만 작동되어, 이후 통계 또는 데이터 검색 시 불리함

03

제작 일정

일정표

주차	날짜	주요 작업	내용
1주차	6/30 - 7/06	설계 구체화 및 자재 확정	전체 구조물 스케치 확정 압축 스프링, PVC 파이프 규격 확정 아두이노 코딩 설계 완료
2주차	7/07 - 7/13	부품 주문 및 기초 회로 테스트	자재 구매 아두이노 + LED 회로 실험 로드셀 연결 실험
3주차	7/14 - 7/20	케이스 제작	폼보드/PVC 기반 구조물 1차 제작 덮개에 아두이노 부착
4주차	7/21 - 7/27	회로 통합 및 데이터 가공	아두이노 회로 통합 LED 작동 테스트 침하 감지 값 출력 테스트
5주차	7/28 - 8/03	현장 시뮬레이션과 테스트 보안	하중 실험 실측 거리 각도 및 계측 테스트 경고 출력 조건 조정
6주차	8/04 - 8/10	최종 보완 및 보고서, 발표 자료 제작	구조물 보강 경보 작동 테스트 PPT 작성
7주차	8/11 - 8/15	리허설 및 최종 점검	팀 발표 연습 예상 질의 대응 최종 보고서 및 결과 정리