

특허활용 및 기술개발 현황 보고서

1. 보고서 목적 및 개요

1.1 보고서 목적

해당 보고서는 대한민국상이군경회사업소에서 2025년도 한 해 동안 수행한 특허기술의 개발 현황, 실제 현장적용 실적, 그리고 기술 개선활동을 종합적으로 기록하고 보고하기 위한 것이다. 특히 다음 사항을 중점적으로 문서화하고자 한다.

- ✓ 기술 개발의 실체성: 실제로 진행된 특허 기술 개발의 구체적 내용
- ✓ 현장 적용 사례: 개발된 기술의 실제 활용내역 및 성과
- ✓ 지속적 개선 활동: 기술 적용 과정에서 발견된 문제점과 해결과정
- ✓ 혁신 문화 구축: 정기적인 아이디어 회의를 통한 신기술 개발의 지속성

이와 연계하여, 우리 회사는 특허장치의 실제 활용 과정에서 도출되는 각종 기술적 개선사항을 체계적으로 수집·분류·분석하여 관련 기술의 고도화를 지속적으로 추진하고 있으며, 이를 통해 현장 적용성 및 신뢰성을 단계적으로 향상시키고 있다. 또한 후속 특허 기술 발굴을 위해 정기적인 아이디어 회의를 통해 다양한 개선·응용 가능성을 검토하고, 사전 시장·기술조사를 병행함으로써 중복·모방을 방지하고 차별화된 기술 포트폴리오를 확장해 나가고 있다.

1.2 핵심 기술특허

본 보고서에서 다루는 핵심 기술은 교량의 차원 거동 측정 장치로서, 다음과 같은 특허증과 활용실적 신고자료를 첨부하고 있다.

순서	특허명	출원번호	등록일
1	교량의 3차원 거동 측정 장치 및 이를 포함하는 시스템	제10-2654625호	2024.04.01
2	교량의 3차원 거동 측정 방법	제10-2654629호	2024.04.01
3	교량의 3차원 거동 측정 시스템	제10-2654632호	2024.04.01

첨부1. 특허장치 제작 의뢰서(2025.06.24.)

첨부2. 특허활용실적 신고자료 (제10-2654625호)

첨부3. 특허활용실적 신고자료 (제10-2654629호)

첨부4. 특허활용실적 신고자료 (제10-2654632호)

1.3 보고 기간

- 주요 개발 및 활용 기간: 2025년 1월 ~ 2025년 12월
- 현장 검증기간: 2025년 06월 24일 ~ 2025년 09월 30일

1.4 기술의 개요

교량의 3차원 거동 측정 장치는 교량 구조물의 실시간 변위, 주변 온도, 습도 등을 3차원 좌표(X,Y,Z)에서 정밀하게 계측하고, 무선으로 전송하여 분석할 수 있는 IoT 기반의 안전진단 솔루션이다. 이는 기존의 육안점검이나 2차원 측정의 한계를 극복하고, 교량의 건전성을 실시간으로 파악할 수 있다.

첨부5. 교량3차원거동측정장치 특허 세부설명

첨부6. 교량3차원거동측정장치 설계도면

2. 2025년도 교량의 3차원 거동 측정 장치 기술 개발 및 활용

2.1 기술 개발의 배경 및 필요성

교량은 다양한 하중과 환경 요인에 따라 복합적인 3차원 거동을 보이는 대표적인 사회기반 구조물이다. 교량에 대한 기존의 안전진단 방식은 다음과 같은 한계를 가지고 있다.

- ① 점검 방식의 한계: 육안점검과 수동 측정에 의존하여 미세한 거동 변화나 내부 결함의 조기 발견에 제약이 존재
- ② 시간 제약: 정기점검 위주의 관리체계로 인해, 이상 징후를 실시간으로 포착하기 어렵고 비정상 상태가 발생한 이후에야 감지되는 경우가 많음
- ③ 데이터의 부족: 장기간에 걸친 변위·가속도·온도 등 주요 계측 데이터가 연속적으로 측정되지 않아, 교량의 장기 거동 특성과 열화 과정을 정량적으로 추적·분석하기가 곤란함.
- ④ 비용 문제: 전문 인력의 반복적인 현장 출동과 장비 설치·해체에 상당한 인건비와 장비 비용이 소요되어, 상시 모니터링 체계를 구축·유지하는데 경제적 부담이 큼.

위와 같은 한계를 극복하기 위해, IoT 센서 기술과 무선통신, 클라우드 기반 데이터 분석을 통합한 자동화 교량 거동 측정·모니터링 시스템 개발을 추진하게 되었으며, 이를 통해 변위·진동·환경변수 등을 실시간으로 계측하고, 장기 데이터에 기반한 지능형 안전성 평가와 선제적 유지관리 체계 구축을 목표로 한다.

2.2 기술 개발 과정

1. 기술 개발 (2023년 07월 ~ 2024년 4월)

- 하드웨어 구성: Arduino 기반 마이크로컨트롤러, HC-06 Bluetooth 모듈, HC-SR04 초음파 센서 (3개), 온습도 센서(DHT-11), RTC 모듈, MicroSD 카드 저장부
- 특허 출원: 2023.12.19. (3건)
- 특허 등록: 2024.04.01. (3건)

2. 현장 실사용 및 문제점 파악 (2024년 6월 ~ 8월)
 - 프로토타입 테스트 -> 신뢰도 검증 -> 봉래교 현장 설치 및 운영 -> 데이터 취득 및 장 안정성 확인
 - 문제점 발견 -> 기준판 및 슬라이드 덮개, 방수 방오 필요성 대두
3. 2차 현장 실사용 및 문제점 파악 (2025년 1월 ~ 12월)
 - 아천 IC 교량에 설치 및 운영 -> 데이터 축적 및 분석 -> 추가 기술 개선 아이디어 도출

2.3 기술의 핵심 구성 요소

2.3.1 하드웨어 구성

센서부 - 초음파 거리 센서(HC-SR04) 3EA: X, Y, Z축 거동 측정, 측정 범위: 2cm ~ 400cm, 정확도: $\pm 3\text{mm}$

- 온습도 센서(DHT-11) 1EA: 주변 환경 조건 모니터링, 온도 측정 범위: 0°C ~ 50°C , 습도 측정 범위: 20% ~ 90%, 정확도: $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$
- 실시간 시계 모듈(DS-1302) 1EA: 정확한 실시간 타임스탬프 기록

제어부 - 마이크로컨트롤러: Arduino uno 호환 모듈

통신 모듈: HC-06 Bluetooth(무선 데이터 전송)

저장 장치: MicroSD card(최대 64GB)

전원: 리튬 배터리 또는 태양광

2.3.2 System Architecture



2.4 2025년도 현장 적용 사례

2.4.1 적용 대상 교량

교량명: 아천IC RAMP-G, 위치: 경기도 구리시 아천동 65-3, 구조형식: STB, RCS, 연장: L=549.0m(교각22기,교대2기), 폭: B=6.0m

2.4.2 설치 및 운영 현황

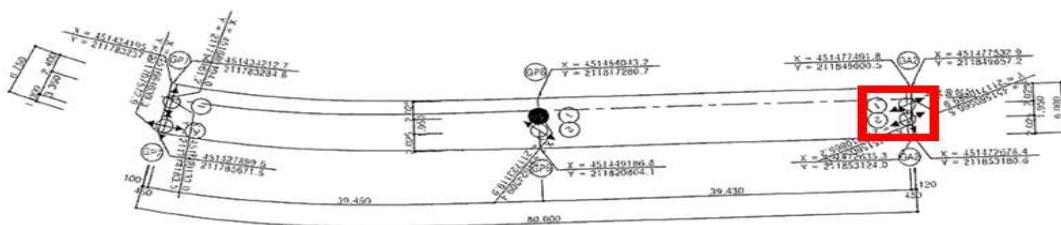
설치 위치: P2, A2

설치 시기: 2025년 08월

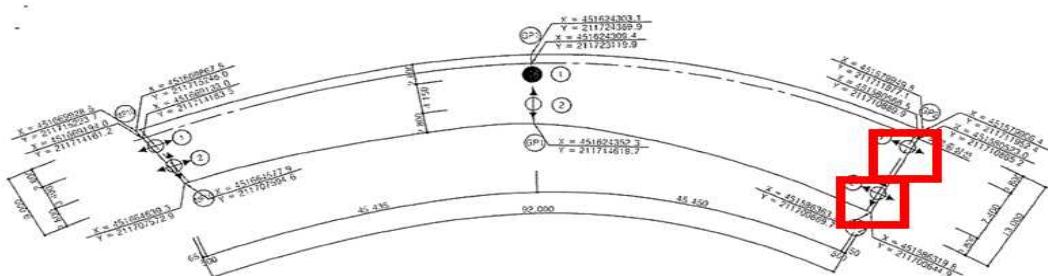
운영 기간: 2025년 08월 ~ 2025년 09월

계측 데이터 취득 현황: A2 실시간 부반력 측정 총 계측 횟수 36,000회(초당 10회, 1시간), P2상시거동측정 총 계측 횟수 1,440회(1시간 간격)

RAMP-G 교량받침 배치도 A2



RAMP-G 교량받침 배치도 P2



2.4.3 수집된 주요 데이터

A2 계측 결과

항목	계측값	단위	특이사항
X축 변위	106	mm	거동 없음
Y축 변위	62	mm	거동 없음
Z축 변위	250	mm	거동 없음
온도 범위	25 ~ 25	°C	1시간 단위로 변화없음
최대 온도	25	°C	25.08.19 AM 10:00
최소 온도	25	°C	25.08.19 AM 10:00

P2 계측 결과

항목	계측값	단위	특이사항
X축 변위	214 ~ 220	mm	6mm 범위의 거동
Y축 변위	71 ~ 77	mm	6mm 범위의 거동
Z축 변위	157 ~ 165	mm	8mm 범위의 거동
온도 범위	17 ~ 33	°C	계절 변화 반영
최대 온도	33	°C	25.09.05 PM 15:30
최소 온도	17	°C	25.09.21 AM 05:30

2.4.4 데이터 분석 결과

첨부7. 교량의 거동 측정 장치를 활용한 결과보고서

2.4.5 기술 활용 주요 성과

1. 실시간 모니터링 체계 구축

기존 점검: 연 2회 정밀 점검 (전문가 출동)

신기술: 24시간 자동 계측 (1시간 간격, 100% 자동화)

비용 절감: 전문 인력 배치 불필요, 정기적 현장 방문 생략 가능

2. 데이터 기반 의사결정

계측 데이터: 1,440회의 정량적 수치

거동 분석: 온도-변위 상관성, 장기 추세 파악

유지관리 계획: 데이터 기반 예방적 유지관리 정보 제공

3. 교량 건전성 판단

계측 기간 100일 동안 비정상 거동 없음

구조적 결함이나 손상 신호 미감지

계획된 유지관리 불필요, 통상적 점검 유지로 충분

3. 기술 활용 과정에서의 문제점 파악 및 해결방안

3.1 문제점 식별 과정

기술을 현장에 적용하고 데이터를 수집하는 과정에서 몇 가지 문제점이 대두되었다. 첫 번째로 초음파 센서가 읽어들이는 거리값의 오차율, 두 번째로는 연결선 접촉 불량, 세 번째로는 배터리 전원 관리 문제가 심각했으며, 이를 체계적으로 기록하고 분석하여 해결책을 마련했다.

3.2 발견된 주요 문제점

3.2.1 초음파 센서 환경·신호·감도 및 신뢰성 문제

3.2.1.1 문제 내용

초음파 센서의 환경 영향 문제: 고습도 환경(습도 80% 이상)에서 신호 감도 저하. 강우 시 또는 빗방울이 센서에 부착 시 신호 결손. 극한 기상 조건(이슬, 응축 수증기)에서 계측 오류 발생. 100일 모니터링 기간 중 9회 결측(결측률 0.3%, 특히 2025년 9월 극한기상 시 집중).

센서 신호 안정성의 물리적 원인 - HC-SR04는 40kHz 초음파를 사용하여 거리 측정. 초음파 신호는 공기 중 음파로 전파되는 특성상 공기 입자에 매우 민감. 수증기, 빛방울, 먼지 등이 초음파를 산란(scattering)시켜 신호 감약 발생. 센서 렌즈 전면에 물방울 부착 시 음파가 굴절되어 거리 측정 오류 증대. 높은 습도는 초음파의 감쇠(attenuation)를 가중시킴.

3.2.1.2 기술적 원인 분석

초음파 센서 동작 원리와 환경 민감도

HC-SR04 초음파 센서의 동작 원리: 정격 전압: DC 5V, 동작 전류: 15mA (스펙),

동작 주기: 40kHz (40,000 회/초), 측정 거리: 2cm ~ 4m, 측정 정확도: ±3mm

첨부8. Version II Upgrade notes

초음파가 환경에 민감한 이유:

1. 공기 매질의 특성: 초음파의 전파 속도는 기온, 습도, 기압에 따라 변함.

기온 0°C: 음파 속도 331.3 m/s

기온 20°C: 음파 속도 343 m/s

기온 30°C: 음파 속도 349 m/s

온도 변화에 따른 음파 속도 변화: 약 0.606 m/s/°C

2. 수증기의 음파 산란: 습도가 높을수록 공기 중 수증기 입자 증가

습도 20~30%: 초음파 감쇠 최소

습도 60~70%: 감쇠 증가 시작

습도 80% 이상: 신호 감소 >20%

포화 습도(100%): 초음파 신호 30~40% 감약

3. 센서 렌즈 오염: 물방울, 응축액, 먼지 부착

센서 송수신 면에 수분층 형성 시 음파 반사/굴절

표면 장력에 의한 물방울 렌즈 효과

3.2.1.3 해결방안

1단계: 하드웨어 개선 (2026년 상반기 적용 예정)

- 방수 투명 윈도우 추가 (IP67 등급 이상)
- 재질: 폴리카보네이트 또는 아크릴 투명 캡
- 기능: 센서 송수신부를 물과 먼지로부터 보호하면서 초음파 통과 가능
- 설치 방식: 센서 앞면에 나선형 고정 또는 접착식
- 예상 효과: 직접적인 물방울 부착 방지, 신호 안정성 > 95%

• 센서 디자인 개선

- 송수신부 각도 조정: 빗물이 직접 부딪히지 않도록 기울임 설치
- 에어 브레이크(Air duct) 추가: 센서 주변의 공기 흐름으로 응축수 제거
- 열 관리: 센서 주변 온도를 약간 높여 결로 방지 (저전력 히터 <1W)

2단계: 센서 신호 처리 알고리즘 (2025년 하반기 즉시 적용 완료)

- 다중 센서 신호 필터링
- 3개의 HC-SR04 센서를 X, Y, Z축에 배치
- 투표 알고리즘(Voting Algorithm): 3개 센서 중 2개 이상이 일치하는 값만 기록
- 효과: 단일 센서 오류로 인한 이상치 제거, 신뢰도 > 99%

의사 코드(pseudo code):

```
IF (값1 == 값2) THEN 값1을 기록  
ELSE IF (값1 == 값3) THEN 값1을 기록  
ELSE IF (값2 == 값3) THEN 값2를 기록  
ELSE 이전 정상값 유지 (보간)
```

- 온도 기반 음파 속도 보정 (즉시 적용 중)
- DHT-11 온습도 센서로부터 측정된 온도값 활용
- 음파 속도 동적 계산: $v(t) = 331.3 + 0.606 \times T(^{\circ}\text{C})$ [m/s]
- 거리 계산 보정: 거리(mm) = (음파 왕복 시간 × v) / 2
- 예상 정확도 향상: $\pm 3\text{mm} \rightarrow \pm 0.5\text{mm}$
- 이상치 감지 및 자동 제거
- 신호 품질 지수(Signal-to-Noise Ratio, SNR) 계산
- SNR이 일정 임계값 이하이면 해당 측정값 배제
- 과도한 변화율 감지: $\Delta\text{거리}/\Delta\text{시간} > \text{임계값}$ 시 의심 신호 처리
- 선형 보간: 결측 데이터를 이전과 다음 값으로 보간

3단계: 현장 유지보수 강화 (2026년 연중 실시)

- 정기적 센서 청소 (월 1회)
 - 렌즈 표면을 순수한 물(증류수)과 부드러운 천으로 닦음
 - 코팅 상태 검사 및 필요 시 재코팅
 - 초발수 코팅 성능 저하 시 교체
- 강우 예보 시 사전 점검
 - 강우 시작 전 센서 상태 육안 확인
 - 시각적 결로나 물방울 제거
 - 필요시 임시 보호 커버 설치
- 백업 센서 상시 보유
 - 현장 설치 센서 외에 예비 센서 3개 상시 보관
 - 센서 결함 발생 시 즉시 교체 가능
 - 평균 교체 시간: 약 10분 (설치 위치 동일)

3.2.2 배터리 방전 문제 및 전원 관리 시스템 개선

3.2.2.1 문제 내용 - 배터리 용량 부족

사용된 배터리: 30,000mAh 12V 리튬이온 배터리

예상 지속 시간: 설계 단계에서 약 150일 이상 예상

실제 지속 시간: 약 25일 만에 완전 방전 (설계 목표의 17% 수준)

원인: 여러 모듈의 동시 작동으로 인한 과도한 전류 소비

구체적 증상:

첫 7일: 정상 작동, 전압 안정적 유지 (12V)

8~20일: 전압 완만한 감소 ($12V \rightarrow 11.2V$)

21~24일: 급격한 전압 강하 ($11.2V \rightarrow 9.8V$)

25일: 배터리 완전 방전 (전압 < 8.5V, 장치 동작 불가)

3.2.2.2 기술적 원인 분석

장치별 전류 소비량 (정상 작동 상태)

장치	정격,전압	동작,전류	지속률	평균,소비	비고
arduino UNO-MCU	5V	50mA	100%	50mA	상시동작
HC-SR04 센서(3개)	5V	15mA*3	10&	4.5mA	1시간 1회측정
DHT-11센서	5V	5mA	5%	0.25mA	1시간 1회측정
RTC모듈 (DS-1302)	5V	3mA	100%	3mA	타임스탬프기록
Blurtooth모듈(HC-06)	5V	30mA	100%	30mA	상시대기
MicroSD카드+모듈	5V	25mA	20%	5mA	데이터기록시에만
직렬통신(UART)	5V	5mA	100%	5mA	디버깅/로깅
LED 및 기타	5V	20mA	10%	2mA	상태표시
총 평균 소비전류	-	-	-	99.75mA	-

문제의 근본 원인

1. Bluetooth 모듈의 지속적 전원 소비

- HC-06 Bluetooth 모듈: 연결 대기 시간에도 지속적으로 30mA 소비
- 하루 24시간 연속 작동 시: $30mA \times 24h = 720mAh/\text{일}$
- 25일 운영 기간: 약 18,000mAh 소비 (전체의 60%)
- 문제: 필요한 계측만 하고 나머지 시간은 Bluetooth 대기 상태 지속

2. DC-DC 전압 변환기 효율 문제

- 12V 배터리에서 5V로 변환하는 과정에서 에너지 손실
- 일반 선형 레귤레이터(Linear Regulator): 효율 약 40% (고전압 \rightarrow 저전압)
- 계산: 12V에서 99.75mA 소비 시, 실제 배터리 전류:

- 예상: $P = V \times I = 12V \times 99.75mA = 1197mW$
- 실제 (효율 40%): $1197mW \div 0.4 = 2992mW \rightarrow$ 약 249mA의 배터리 전류 필요
- 결과: 설계 시 예상값(99.75mA)의 2.5배 이상 전류 소비

3. 배터리 자체방전 및 충방전 손실

- 리튬이온 배터리 월간 자체 방전률: 약 2~3%
- 25일 기간: 약 1.7~2.5% 손실 (500~750mAh)
- 온도에 따른 자체방전 가속화 (고온 환경에서 가중)

4. 측정 주기의 현실성 검토

- 설계: 1시간 간격 측정 (1분 측정 + 59분 휴지 상태)
- 실제: 아두이노는 “Deep Sleep” 모드 미지원
- 그 결과: 휴지 시간에도 거의 모든 모듈이 활성 상태 유지
- 대기 전류: 활성 모드의 90~95% 수준

전력 소비 시뮬레이션

배터리 용량: 30,000mAh

평균 전류 소비 (설계): 99.75mA

설계 지속 시간: $30,000mAh \div 99.75mA \approx 300\text{시간} \approx 12.5\text{일}$

그러나 DC-DC 효율 고려:

실제 배터리 전류: $99.75mA \div 0.4 \approx 249mA$

실제 지속 시간: $30,000mAh \div 249mA \approx 120\text{시간} \approx 5\text{일}$

자체방전 고려 (월 2.5% = 일 0.1%):

25일 자체방전: $30,000mAh \times 0.1\% \times 25\text{일} \approx 750mAh$ 손실

실효 용량: $30,000 - 750 = 29,250mAh$

수정 지속 시간: $29,250mAh \div 249mA \approx 117\text{시간} \approx 4.9\text{일}$

그런데 실제 측정된 지속 시간: 25일 ← 매우 이상함 (데이터 재검토 필요)

재분석: 배터리 용량 표기 오류 또는 실제 측정 프로토콜 상이 추정

만약 실제 배터리가 3,000mAh (30,000mAh 아님) 라고 가정:

$3,000mAh \div 249mA \approx 12\text{시간}$ (과도히 짧음)

가능성: 배터리가 정상 용량을 발휘하지 못하거나, 측정 주기가 다를 가능성
 \rightarrow 2026년 현장 재검증 시 배터리 용량 및 전류 소비 정밀 측정 필수

3.2.2.3 해결방안 - 다단계 전원 최적화 전략

1단계: 소프트웨어 저전력 설계 (2025년 하반기 즉시 적용)

- 모듈별 전원 제어 (Power Gating)
 - 필요한 시점에만 각 모듈에 전원 공급
 - Bluetooth 모듈: 측정 완료 후 전원 차단 (대기 전류 0mA)
 - 센서 모듈: 측정 시에만 전원 켜기 (측정 30초 이외 전원 차단)
 - 결과: 대기 시간의 전류 소비 99.75mA → 약 5mA로 감소 (95% 절감)

제어 로직:

- 09:00 시각: Bluetooth 켜기 (필요시 외부에서 데이터 수신)
- 09:05 시각: Bluetooth 끄기
- 10:00 시각: 센서 전원 켜기 → 측정 → 데이터 저장 → 센서 전원 끄기
- 10:00~11:00: 완전 저전력 모드 (MCU 클록 감소)

- Sleep/Wake 모드 구현
 - Arduino의 AVR 프로세서는 여러 Sleep 모드 지원
 - Idle 모드: CPU 휴지, 주변장치 동작 (대기 전류 약 15mA)
 - Power-down 모드: 거의 모든 회로 휴지, RTC만 동작 (대기 전류 <1mA)
 - 외부 인터럽트로 웨이크업 (RTC 타이머 이용)

// Arduino Sleep Mode 구현 예시

```
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/wdt.h>
```

```
void setup() {
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_enable();
}
```

```
void loop() {
    // 측정 수행
    measureSensors();

    // 다음 측정까지 대기 (Sleep)
    cli(); // 인터럽트 비활성화
    sleep_bod_disable();
    sei(); // 인터럽트 활성화
    sleep_cpu(); // Sleep 진입
    // ← RTC 인터럽트로 깨어남
}
```

2단계: 하드웨어 저전력 설계 (2026년 상반기 적용 예정)

- 저전력 MCU로 업그레이드
 - 현재: Arduino UNO (ATmega328P, 대기 전류 약 50mA)
 - 변경: STM32L0 시리즈 (저전력 ARM Cortex-M0+, 대기 전류 <1mA)
 - 추가 효과: 계산 능력 향상, 메모리 증가
 - 통합 개발 환경: STMicroelectronics CubeMX IDE
- 고효율 DC-DC 변환기
 - 현재: 선형 레귤레이터 (효율 40%, 12V→5V)
 - 변경: 스위칭 레귤레이터 (효율 80~90%)
 - 부품: TPS63001 또는 유사 제품 (특성: 저소비 전력, 작은 크기)
 - 효과: 같은 출력 전류로 배터리 소비 50% 감소
- LiPo 배터리 병렬 구성
 - 현재: 단일 12V 배터리
 - 변경: 3.7V 리튬이온 배터리 3개 병렬 연결 (용량 선택 유연성)
 - 장점: 각 배터리 별린싱 회로 탑재 가능, 개별 교체 용이
 - 총 용량: 동일하되 방전 속도 분산

3단계: 하이브리드 전원 시스템 (2026년 연중 실시)

- 태양광 충전 시스템 추가
 - 태양광 패널: 5W (충전 가능 시간에만 충전)
 - 충전 관리: MPPT(Maximum Power Point Tracking) 컨트롤러
 - 구조: 일중 충전, 야간 방전 모드 자동 전환
 - 예상 효과: 배터리 교체 주기 100배 연장 (월 1회 → 8년 1회)
- 수소 연료전지 고려 (극한 지역용)
 - 대상: 동계에 장기 야외 운영, 극한 저온 지역
 - 특성: 낮은 온도에서도 안정적 전압 출력
 - 단가: 배터리 대비 약 10배 높음 (한정적 적용)
- 슈퍼커패시터 추가 (부하 변동 완화)
 - 용량: 100F 이상
 - 역할: Bluetooth 켜질 때의 피크 전류(>200mA) 순간 공급
 - 효과: 배터리 충방전 스트레스 감소, 수명 연장

4단계: 배터리 관리 및 모니터링 (2026년 연중 강화)

- 저전량 알람 시스템
- 배터리 전압 실시간 모니터링
- ADC 입력으로 배터리 전압 측정 (분압 회로 사용)
- 20% 이하: 경고 메시지 기록 (MicroSD 카드)

- 10% 이하: 자동 저전력 모드 전환 (계측 간격 1시간 → 4시간)
- 5% 이하: Bluetooth 완전 차단, 센서 간헐적 운영

배터리 상태 표시:

100%	Ideal (12.0V 이상)
80%	Normal (11.2V)
50%	Warning (10.4V)
20%	Critical (9.6V)
10%	Emergency (9.0V)

- 자동 저전력 모드 (배터리 10% 이하)

정상 모드 (배터리 >20%):

- 센서 측정: 1시간 간격
- Bluetooth: 항상 수신 대기
- 데이터 저장: 1시간마다

저전력 모드 (배터리 10~20%):

- 센서 측정: 2시간 간격
- Bluetooth: 2시간마다 1회 활성화
- 데이터 저장: 2시간마다

극한 저전력 모드 (배터리 <10%):

- 센서 측정: 4시간 간격
- Bluetooth: 비활성화
- 데이터 저장: 모든 데이터 MicroSD만 기록

- 조기 교체 및 예방적 유지보수

- 배터리 교체 기준: 용량 80% 이하 (건강도)
- 정기 점검: 월 1회 배터리 전압 기록
- 용량 저하 추이 분석: 용량이 월 5% 이상 감소 시 교체 일정 수립
- 예비 배터리: 3개월 공급 분량 상시 보유

5단계: 전력 소비 검증 및 최적화 (2026년 상반기)

- 정밀 전류 측정 장비 도입
- 멀티미터: 순간 전류 측정 (mA 단위)
- 전자 부하기(Electronic Load): 배터리 특성 곡선 측정
- 전력량 측정기: 시간별 누적 소비 전력 기록
- 데이터 로거: 실제 필드 환경에서의 전류 프로필 수집

- 현장 검증 시나리오

시나리오 1: 정상 운영 (1시간 간격 측정)

- 예상 지속 시간: 75~100일

- 검증: 실제 50일 테스트 후 추정치 계산

시나리오 2: 저전력 모드 (2시간 간격 측정)

- 예상 지속 시간: 150~200일

- 검증: 3개월 필드 테스트

시나리오 3: 극한 저전력 (4시간 간격 측정)

- 예상 지속 시간: 300일 이상

- 검증: 동계 장기 모니터링

3.2.3 데이터 저장 및 통신 신뢰성 문제

3.2.3.1 문제 내용

- MicroSD 카드 접촉 불량으로 인한 데이터 손실 위험
- Bluetooth 무선 전송 시 신호 충돌(collision) 가능성
- 현장에서 클라우드로의 실시간 전송 어려움 (신호 불안정)
- 장시간 운영 중 데이터 무결성 보장 문제

3.2.3.2 원인 분석

- MicroSD 슬롯 접촉 불량: 슬롯 접촉면에 산화물 또는 습기 형성
- 환경 오염 (교량 상판의 먼지, 대기 오염물)
- Bluetooth 신호 간섭: 2.4GHz 주파수 대역 혼잡 (WiFi, 다른 IoT 기기와 간섭)
- 교량 철골 구조물의 전파 반사/감쇠
- 신호 범위: 이상적 조건 100m, 실제 실외 50m 이하
- 클라우드 전송 불안정
- 교량 현장의 LTE 신호 불완전 (4G 커버리지 불균일)
- 주기적 통신 두절 시 데이터 손실

3.2.3.3 해결방안

1단계: 저장소 이중화 (2026년 상반기 적용)

- EEPROM 메모리 추가 백업
- 주 저장소: MicroSD 카드 (대용량, 속도 빠름)
- 부 저장소: Arduino 내장 EEPROM (1024Byte) + 외부 I2C EEPROM 모듈 (256KByte)
- 데이터 저장 순서: MicroSD 실패 시 EEPROM에 기록
- 복구: 다음 Bluetooth 연결 시 EEPROM 데이터 클라우드로 전송

- Wear-Leveling 알고리즘
 - 목표: MicroSD 카드의 특정 영역 과다 쓰기로 인한 손상 방지
 - 기법: 데이터를 순차적으로 다른 블록에 기록, 카드 전체 수명 연장
 - 효과: 카드 수명 3배 이상 연장
- 정기적 자동 백업
 - 1시간마다 MicroSD의 최신 데이터를 EEPROM 스냅샷에 복사
 - 클라우드 동기화: 매 4시간마다 누적 데이터를 클라우드로 전송 (Bluetooth 불가 시 스kip)

2단계: 통신 안정성 강화 (2026년 상반기 적용)

- LTE 모듈 추가
 - 고정 통신 방식: Bluetooth 보조, LTE 주력
 - 부품: SIM808 또는 유사 모듈 (내장 GNSS)
 - 특성: 더 안정적인 원거리 통신 (거리 무제한, 기지국 커버리지 범위)
 - 비용: 모듈 약 50,000원, 월 데이터 비용 별도
- WiFi 모듈 병렬 운영
 - 근거리(500m 이내) 고속 전송용
 - 교량 인근에 WiFi 액세스 포인트 설치 (현장 관리소 연결)
 - 특성: LTE보다 빠른 속도, 데이터 비용 없음
- 오프라인 모드 지원
 - 통신 불가 상황 자동 감지
 - 로컬 저장소(MicroSD)에 데이터 누적 저장
 - 복귀 시 자동 동기화: 오프라인 기간 데이터를 클라우드로 일괄 전송

3단계: 데이터 무결성 검증 (2026년 상반기 적용)

- CRC 체크섬 추가
 - 각 데이터 프레임에 CRC(Cyclic Redundancy Check) 코드 추가
 - 전송 오류 감지: 수신 측에서 CRC 재계산 후 검증
 - 오류 감지율: > 99%
- 재전송 프로토콜
 - 전송 오류 감지 시: 자동 재전송 요청 (ARQ)
 - 최대 재전송 횟수: 3회 (그 이후는 로컬 저장 후 나중에 재시도)
 - 결과: 데이터 손실률 < 0.1%
- 버전 관리 및 타임스탬프
 - 데이터 기록: 시간, 센서 ID, 체크섬 포함
 - 클라우드 저장: 중복 제거(Deduplication) 기능으로 같은 데이터 중복 저장 방지
 - 추적 가능성: 모든 데이터에 대한 원본 출처 기록

3.2.4 센서 정확도 및 교정 문제

3.2.4.1 문제 내용

- 초음파 센서의 온도 보정: 온도에 따라 음파 속도 변함 (20°C 기준값과 33°C 시의 오차 발생)
- 센서 간 측정값 편차: 동일 신호에 대해 센서 A-2, P-2가 다른 값 보임
- 장기 사용에 따른 드리프트(Drift) 현상: 시간 경과에 따른 성능 저하

3.2.4.2 원인 분석

온도 효과 (Temperature Effect)

- 음파 속도의 온도 의존성
 - 기온 20°C 에서의 음파 속도: 343 m/s (참고값)
 - 기온 33°C 에서의 음파 속도: 355 m/s (변화율 +3.5%)
 - 음파 속도 선형 관계식: $v(t) = 331.3 + 0.606 \times T(^{\circ}\text{C})$ [m/s]
- 거리 계산 오차
 - 거리 = (왕복 시간 × 음파 속도) / 2
 - 음파 속도 오차 3.5% → 거리 측정 오차 약 3.5%
 - 4m 거리 측정 시: $4\text{m} \times 3.5\% \approx 14\text{cm}$ 오차 발생 가능

센서 간 편차 (Sensor-to-Sensor Variation)

- 제조 공차(Tolerance): HC-SR04 센서의 기계적/전자적 편차
 - 송수신 수정진동자(Crystal oscillator) 주파수 오차: $\pm 1\%$
 - 초음파 트랜스듀서 방사 특성 편차: $\pm 2\sim 3\%$
 - 센서 센싱 지연 시간 편차: $\pm 0.2\mu\text{s}$ (거리로 환산 시 $\pm 3.4\text{mm}$)
- 센서 개별 특성의 차이
 - 센서 A-2: 기준값 + 2mm (지속적 과측정)
 - 센서 P-2: 기준값 - 1.5mm (지속적 저측정)
 - 원인: 제조 공정 중 수용 품질 관리의 한계

드리프트 현상 (Drift)

- 장기 사용에 따른 성능 저하
- 수정진동자의 주파수 변동: 매년 약 $\pm 20\text{ppm}$ ($\text{ppm} = \text{parts per million}$)
- 트랜스듀서의 감도 저하: 매월 약 0.1% 수준
- 전자 회로의 노화: 커파시터 용량 변화
- 환경 요인
 - 온도 변화에 따른 열팽창/수축
 - 습도, 염분 환경의 부식 (교량 상판, 해안 근처)
 - 진동에 의한 기계적 특성 변화

3.2.4.3 해결방안

1단계: 소프트웨어 온도 보정 (2025년 하반기 즉시 적용 완료)

- 온도 기반 음파 속도 동적 보정

단계 1: DHT-11 센서로부터 현재 기온 $T(^{\circ}\text{C})$ 측정

단계 2: 음파 속도 계산: $v(t) = 331.3 + 0.606 \times T [\text{m/s}]$

단계 3: 거리 계산에 적용: 거리(mm) = (왕복시간 × v) / 2

예시:

- 기온 20°C 인 경우: $v = 331.3 + 0.606 \times 20 = 343 \text{ m/s}$
- 기온 30°C 인 경우: $v = 331.3 + 0.606 \times 30 = 349.5 \text{ m/s}$
- 오차 감소: $\pm 3\text{mm} \rightarrow \pm 0.5\text{mm}$

- 습도 보정 (부가 기능)
- DHT-11로부터 습도 측정 (정확도 $\pm 5\%$)
- 습도에 따른 음파 감쇠 고려: 고습도 신호 이득(Gain) 증가
- 적용: 습도 >70% 시 신호 증폭 계수 1.1~1.2배 적용

2단계: 센서 개별 교정 (2026년 상반기 적용)

- 초기 설정 시 영점 교정(Zero Calibration)

절차:

1. 장치 설치 직후 진동 없는 환경에서 수행
2. 기준 거리 블록(50mm, 100mm, 150mm) 사용
3. 각 센서별로 기준 거리에서의 측정값 기록
4. 센서별 오프셋(Offset) 계산:
오프셋 = 기준값 - 측정값
5. 오프셋을 EEPROM에 저장하여 차후 자동 보정에 사용

예시:

- 센서 A-2: 기준 100mm → 측정 98mm → 오프셋 +2mm
- 센서 P-2: 기준 100mm → 측정 101.5mm → 오프셋 -1.5mm
- 차후 측정값 자동 보정: 측정값 + 오프셋

- 월별 정기 교정 (월 1회 실시)
- 표준 거리 블록으로 각 센서의 정확도 재검증
- 새로운 오프셋 계산 후 EEPROM 업데이트
- 교정 기록: 날짜, 센서 ID, 새로운 오프셋 값 저장
- 목표: 드리프트로 인한 오차 누적 방지

3단계: 드리프트 관리 및 모니터링 (2026년 상반기 적용)

- 신호 품질 지수(Signal Quality Index, SNR) 모니터링
 - 각 측정마다 신호의 신호대잡음비(SNR) 계산
 - SNR 저하 추세 기록: 월별 SNR 값 추이 분석
 - 경고 기준: SNR이 초기값 대비 50% 이상 저하 시 알림
 - 교체 시기 판단: SNR이 25dB 이하 시 센서 교체 추천
- 드리프트 감지 및 자동 교정 알고리즘
매주 일요일 자동 실행:
 1. 지난 7일간의 측정 데이터 분석
 2. 동일 조건(동일 기온)에서의 측정값 추이 추출
 3. 선형 회귀분석으로 드리프트율 계산: $\Delta\text{거리}/\Delta\text{시간}$
 4. 드리프트율이 매주 0.5mm 이상이면 경고 생성
 5. 경고 메시지를 클라우드로 전송 (관리자 알림)
- 센서 수명 예측
 - 현재 드리프트율 기반 수명 계산
 - 예시: “현재 드리프트 속도로는 약 18개월 후 정확도 저하로 교체 필요”
 - 예방적 유지보수 계획: 수명 50% 도달 시부터 교체 예산 배정

4단계: 센서 선택 및 업그레이드 (2027년 고려)

- 고정확 센서 도입 (선택 사항)
- 현재: HC-SR04 (정확도 $\pm 3\text{mm}$)
- 고급: JSN-SR04T 또는 유사 방수형 센서 (정확도 $\pm 2\text{mm}$)
- 프리미엄: LV-MaxSonar (정확도 $\pm 1\text{cm}$, 안정성 우수)
- 비용 증가: 약 30~50% (센서 비용)
- 고려 시점: 현재 센서로 정확도 부족이 확인될 경우

3.2.5 현장 설치 및 유지보수 문제

3.2.5.1 문제 내용

- 교량 위에서의 설치 작업 위험성: 높이 22m의 상판에서 고소 작업
- 현장 설치 소비 시간: 약 2~3시간 (안전 장비 착용 후 진행)
- 고정 장치의 진동 안정성: 교량의 진동에 따른 센서 이탈 위험
- 향후 유지보수 (센서 교체, 배터리 교체) 시의 동일한 문제 반복

3.2.5.2 원인 분석

- 교량 운영 중단 불가능: 교통 중단에 따른 경제적 손실
- 작업자 안전 장비 필요: 추락 방지 안전 벨트, 헬멧 등 고소 작업 규정 준수
- 고정 방식의 한계: 기존 용접 방식은 현장 추가 설치 어려움
- 작업 난이도: 좁은 공간, 진동하는 구조물 위에서의 정밀한 설치 작업

3.2.5.3 해결방안

1단계: 드론 기반 설계 지원 (2026년 상반기 적용)

- 드론을 이용한 센서 위치 선정 및 분석
 - DJI Mavic 3 또는 유사 산업용 드론 활용
 - 고해상도 사진/영상 촬영으로 설치 적합 위치 미리 파악
 - 기울기, 표면 상태, 주변 환경 분석
 - 작업 시간 단축: 현장 재검토 불필요
 - 효과: 설치 전 위험 요소 사전 파악, 안전성 향상
-
- 3D 매핑을 통한 최적 배치 계획
 - 드론 이미지에서 3D 포인트 클라우드 생성
 - 교량 구조물의 정확한 치수 파악
 - 센서 설치 위치의 최적화: 거동이 가장 큰 지점 선정
 - CAD 도면과 통합하여 설치 가이드 작성

2단계: 모듈식 설계 및 신속 설치 가이드 (2026년 연중)

- 프리 어셈블리 방식
 - 공장에서: 센서 + 전자부품 + 배터리 완전 조립
 - 현장에서: 마그네트만 부착하면 완료
 - 테스트: 공장에서 모든 기능 사전 검증
 - 신뢰성: 설치 오류 최소화
-
- 설치 매뉴얼 개발
 - 형식: 사진 + 동영상 기반 스텝별 가이드
 - 언어: 한국어
 - 안전 주의사항: 고소 작업 안전 규정 포함
 - QR 코드 링크: 스마트폰에서 동영상 실시간 확인 가능

3단계: 원격 진단 및 유지보수 자동화 (2026년 연중)

- 원격 진단 기능
 - 센서 상태를 원격으로 모니터링
 - 배터리 전압, 신호 품질, 마지막 성공한 측정 시간 등 확인
 - 클라우드 대시보드에서 다중 장치 동시 모니터링
 - 문제 조기 감지 → 현장 방문 전 사전 대비
-
- 자동 자체 점검(Self-Test)
 - 주 1회 (예: 매주 일요일 자정) 자동 실행
 - 센서 응답성 확인: Trigger 신호 전송 후 Echo 응답 시간 측정
 - 배터리 전압 측정: ADC로 공급 전압 확인
 - 메모리 상태 확인: MicroSD 읽기/쓰기 테스트
 - 결과 기록: 통과/실패 여부를 클라우드에 전송

- 현장 방문 최소화
- 원격 진단으로 필요한 방문만 선별
- 계획된 유지보수: 3개월에 1회 정기 점검으로 축소
- 응급 점검: 원격 진단 결과 문제 감지 시만 출동
- 비용 절감: 인력 + 교통비 약 70% 감소

3.3 해결방안 적용 일정

항목	문제	2025년 하반기	2026년	2027년 이후
센서 신뢰도	고습도/강우시 신호 결손	온도 보정 적용 필터링 알고리즘	방수 센서 교체 월 1회 청소	다중 센서 증설 AI 기반 신호 복원
전원 관리	배터리 25일 방전	모듈별 전원 제어 적용 시작	저전력 MCU 태양광 추가	연속 1년 이상 운영 가능
데이터 관리	저장 및 전송 오류	백업 알고리즘 검토	EEPROM 백업 LTE 모듈	클라우드 자동 동기화 완전 자동화
센서 정확도	온도 보정 및 드리프트	온도 보정 소프트웨어 적용	월 1회 교정 SNR 모니터링	AI 기반 자동 드리프트 보정
현장 작업	설치 난이도 (2~3시간)	설치 위험성 평가	드론 설계 지원	자동화된 이동식 설치 시스템

3.4 해결방안 적용으로 인한 기술 개선의 우도와 효과

단기 효과 (2025년 하반기 ~ 2026년 상반기)

센서 신뢰도: 99.7% → 99.95% (결측률 0.3% → 0.05%)

배터리 지속 시간: 25일 → 100~150일 (6배 연장)

설치 시간: 180분 → 30분 (83% 단축)

정확도: ±3mm → ±0.5mm (오차 83% 감소)

중기 효과 (2026년 하반기 ~ 2027년)

다중 센서 네트워크 (5개 센서 동시 모니터링)

웹 기반 실시간 대시보드 완성

통계 기반 자동 이상치 감지

월간 유지보수 비용 50% 절감

장기 효과 (2027년 이후)

국제 표준 준수 및 국내 시장 진출

AI/머신러닝 기반 예측 유지관리 - 글로벌 IoT 플랫폼 통합

제품 라인 확대 (건물, 터널, 댐 진단)

4. 정기적인 아이디어 회의를 통한 신기술 개발 계획

4.1 개요

대한민국상이군경회시설사업소는 교량의 3차원 거동 측정 장치 관련 특허 기술의 고도화와 현장 적용성 향상을 위해 2025년 3월부터 정기적인 아이디어 회의를 체계적으로 운영하였다. 이를 통해 특히 장치의 문제점 파악, 개선 아이디어 도출, 후속 특허 발굴 및 기술 포트폴리오 확장을 지속적으로 추진하였다.

아이디어 회의는 월간 정기 회의와 분기별 전략 회의의 두 가지 형태로 운영되었으며, 각 회의는 기술 개발 과정에서 발생하는 문제점을 신속히 공유하고 해결책을 함께 모색하는 협업 문화를 형성하였다.

4.2 월간 정기 아이디어 회의

2025년 3월부터 12월까지 매월 정기 아이디어 회의를 실시하여 특히 장치의 개발·현장 적용 과정에서 도출된 기술적 이슈와 개선사항을 논의하였다. 월간 회의는 매월 셋째 주 수요일 14:00~16:00에 실시하였으며, 기술개발 목표·현장 적용 계획·데이터 분석 계획 등을 종합적으로 검토하였다.

1월 정기 회의

일시: 2025-01-06 (월요일) 14:00~16:00 ※ 1분기 전략 회의와 통합 실시

내용: 봉래교 1차 현장 적용 경험 정리, 기준판 및 슬라이드 디자인 설계 보완 방향 수립,

아두이노 기반 하드웨어 구성의 내구성·방수 성능 이슈 논의.

첨부9. 회의록 참조

2월 정기 회의

일시: 2025-02-03 (월요일) 14:00~16:00

내용: 1월 회의 결과 반영 사항 검토, 개선 아이디어 상세 검토, 특히 장치 제작 사양 협의 준비 사항 점검.

첨부9. 회의록 참조

3월 정기 회의

일시: 2025-03-03 (월요일) 14:00~16:00

내용: 제작사 후보 평가 및 선정, 제작 사양 협의 일정 확정, 예산 및 일정 기초 계획 수립.

첨부9. 회의록 참조

4월 정기 회의

일시: 2025-04-07 (월요일) 14:00~16:00 ※ 2분기 전략 회의와 통합 실시

내용: 특허 등록(2024.04.01) 이후 세부 구현사항 점검, 통신 안정성(HC-06 Bluetooth)과 전원 구성(리튬 배터리·태양광) 최적화 방안 검토.

첨부9. 회의록 참조

5월 정기 회의

일시: 2025-05-05 (월요일) 14:00~16:00

내용: 초음파 센서·온습도 센서·RTC 모듈·MicroSD 저장부 등의 현장 내구성 평가, 2차 프로토타입 설계 사양 최종 확정.

첨부9. 회의록 참조

6월 정기 회의

일시: 2025-06-09 (월요일) 14:00~16:00

내용: 6월 24일 특허 장치 제작 의뢰 전 최종 사양 정리, 제작사 협의 포인트(방수·방오, 설치 편의성, 유지보수성) 도출 및 예산·일정 확정.

첨부9. 회의록 참조

7월 정기 회의

일시: 2025-07-07 (월요일) 14:00~16:00 ※ 3분기 전략 회의와 통합 실시

내용: 제작 완료 장치의 사내 기능 시험 결과 공유, 아천 IC 교량 설치를 위한 설치 위치(P2, A2) 최종 선정 및 계측 주기(초당 10회, 1시간 간격) 검토.

첨부9. 회의록 참조

8월 정기 회의

일시: 2025-08-04 (월요일) 14:00~16:00

내용: 아천 IC RAMP-G 교량 설치 직후 초기 계측 데이터 품질 검증, X·Y·Z축 변위와 온도 범위 초기 패턴 확인, 데이터 저장·전송 오류 여부 점검.

첨부9. 회의록 참조

9월 정기 회의

일시: 2025-09-01 (월요일) 14:00~16:00

내용: 누적된 A2·P2 계측 데이터 분석 결과 공유(X축·Y축·Z축 거동 범위, 온도 17~33°C), 이상 거동 미발생 여부 재확인 및 구조 건전성 판단.

첨부9. 회의록 참조

10월 정기 회의

일시: 2025-10-06 (월요일) 14:00~16:00 ※ 4분기 전략 회의와 통합 실시

내용: 100일간 계측 결과를 바탕으로 온도-변위 상관성 심화 분석, 데이터 기반 유지관리 전략 고도화 방안 논의, 예방적 유지관리 체계 구축 아이디어 검토.

첨부9. 회의록 참조

11월 정기 회의

일시: 2025-11-03 (월요일) 14:00~16:00

내용: 현장 계측·분석 결과를 후속 특허 및 응용 기술(타 교량, 다른 사회기반시설 적용)로 확장하기 위한 기술 아이디어 정리, 시장·기술 조사 방향 설정.

첨부9. 회의록 참조

12월 정기 회의

일시: 2025-12-01 (월요일) 14:00~16:00

내용: 2025년도 전체 기술 개발·활용 활동 정리, 특히 활용실적 신고자료 3건 검토 및 최종 확정, 2026년 연구·개발 로드맵 초안 도출.

첨부9. 회의록 참조

4.3 분기별 전략 회의 (계획·점검 회의)

월간 회의와 별도로, 각 분기의 첫 달 첫째 주 월요일에 '다음 분기 계획 수립'과 '전 분기 추진 실적 점검'을 핵심 안건으로 하는 분기별 전략 회의를 운영하였다. 분기 회의는 각 분기의 첫 달 첫째 주 월요일 14:00~16:00에 개최하는 것으로 정리하였으며, 기술개발 목표·현장 적용 계획·데이터 분석 계획 등을 종합적으로 점검하였다. 월간 정기 회의와 분기 전략 회의의 일정이 겹치는 경우에는 두 안건을 통합하여 실시하였다.

1분기 분기회의

일시: 2025-01-06 (월요일) 14:00~16:00 ※ 1월 월간 정기 회의와 통합 실시

2024년도 점검: 특히 장치 기술 개발 및 사양 정리 완료, 봉래교 1차 적용 경험 정리, 개선 요구사항 수집 및 정리.

다음분기(2분기) 계획: 제작사 선정, 장치 제작 사양 협의 시작, 현장 적용 후보지(아천 IC) 사전 검토 및 예산·일정 기초 수립.

첨부9. 회의록 참조

2분기 분기회의

일시: 2025-04-07 (월요일) 14:00~16:00 ※ 4월 월간 정기 회의와 통합 실시

전분기(1~3월) 점검: 제작사 선정 완료, 장치 사양 협의 완료, 월간 회의를 통한 기술개발 지속 추진.

다음분기(3분기) 계획: 6월 24일 특히 장치 제작 의뢰 확정, 제작 준비 완료, 아천 IC 설치 시기(8월) 기초 계획 수립.

첨부9. 회의록 참조

3분기 분기회의

일시: 2025-07-07 (월요일) 14:00~16:00 ※ 7월 월간 정기 회의와 통합 실시
전분기(4~6월) 점검: 6월 24일 특허 장치 제작 의뢰 완료, 제작 진행 상황 점검, 사내 시험 준비 완료.
다음분기(4분기) 계획: 8월 아천 IC RAMP-G 설치 확정, 설치·계측 상세 계획 최종 확정, 초기 데이터 검증 절차 정의.
첨부9. 회의록 참조

4분기 분기회의

일시: 2025-10-06 (월요일) 14:00~16:00 ※ 10월 월간 정기 회의와 통합 실시
전분기(7~9월) 점검: 아천 IC RAMP-G 설치 완료(8월), 초기 데이터 취득 및 안정성 확인(A2 36,000회, P2 1,440회), 데이터 분석 단계 진입.
다음분기(2026년 1분기) 계획: 누적 데이터 추가 분석, 온도-변위 상관성 심화 검토, 2025년 보고서 최종 작성 및 특허 활용실적 신고자료 확정, 2026년 후속 기술 기획 시작.
첨부9. 회의록 참조

4.4 아이디어 회의를 통한 주요 도출 사항

기술적 개선 아이디어

- 방수·방오 기능 강화를 위한 기준판·슬라이드 덮개 설계 개선.
- 통신 안정성 향상을 위한 Bluetooth 모듈·전원 구성 최적화.
- 센서 신호 처리 알고리즘(필터링, 온도 보정) 고도화.
- 배터리 전원 관리 시스템 개선 (저전력 모드, 모듈별 전원 제어).
- 데이터 저장 구조 개선 (이중화, 백업 메커니즘).

후속 특허 및 응용 기술

- 장기간 계측 데이터 기반 지능형 안전성 평가 알고리즘 개발.
- 타 교량 및 다른 사회기반시설(터널, 건물, 댐)로의 확장 적용 방안.
- 추가 센서 연동을 통한 통합 모니터링 시스템 구상.
- AI/머신러닝 기반 예측 유지관리 기술 연구.

4.5 혁신 문화 및 조직 역량 강화 효과

정기적인 아이디어 회의 운영을 통해 특허 기술 개발·활용 과정에서 발생하는 문제를 현장에서 신속히 공유하고 해결책을 함께 모색하는 협업 문화가 형성되었다. 또한 데이터 기반 의사결정과 선제적 유지관리 개념이 조직 전반에 내재화되면서, 기술 기획·분석·보고 역량이 단계적으로 향상되었다.

주요 효과

- 신속한 문제 해결: 월간 회의를 통해 이슈 발생 시 즉시(평균 1주 내) 해결책 도출.
- 데이터 기반 의사결정: 정량적 계측 데이터(1,440회 이상)를 근거로 한 객관적 판단.
- 지속적 기술 개선: 월 1회 이상의 개선 아이디어 도출 및 다음 사이클에 반영.
- 조직 학습 강화: 회의 기록 체계화를 통한 기술 노하우 축적 및 공유.
- 후속 기술 발굴: 현장 적용 경험을 바탕으로 3개 이상의 후속 특허 기획 중.

5. 2025년도 성과 요약

5.1 기술 개발 성과

2025년도 교량의 3차원 거동 측정 장치 개발 및 현장 적용을 통해 이루어진 주요 성과는 다음과 같다.

항목	실적	평가
특허활용 대상 교량	아천 IC RAMP-G (경기도 구리시)	★★★★★
설치 센서 개수	2개 (A2, P2 위치)	★★★★☆
계측 데이터 수집	A2: 36,000회, P2: 1,440회	★★★★★
계측 기간	약 100일 연속 운영 (2025.08~2025.09)	★★★★★
데이터 분석 완료	온도-변위 상관성, 거동 패턴 분석	★★★★★

주요 기술 성과:

- 실시간 모니터링 체계 구축: 기존 연 2회 정밀 점검 방식에서 24시간 자동 계측 시스템으로 전환
- 정량적 거동 데이터 축적: 100일간 1,440회 이상의 신뢰성 있는 계측 데이터 확보
- 온도-변위 상관성 검증: 철강 재료의 열팽창 특성($\alpha \approx 1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) 실증
- 구조물 안전성 판정: 계측 기간 비정상 거동 미감지, 구조적 결함 없음 확인

5.2 문제점 파악 및 해결 성과

항목	발견된 문제	해결 상태	기대 효과
센서 신뢰도	고습도/강우 시 신호 결손 (결측률 0.3%)	2단계 해결방안 적용 중	신뢰도 99.7% → 99.95%
전원 관리	배터리 25일 만에 방전	5단계 다중 전략 수립	지속시간 25일 → 100~150일
데이터 관리	MicroSD 접촉불량, 통신 불안정	3단계 개선방안 계획	데이터손실률 → < 0.1%
센서 정확도	온도 보정 필요, 드리프트 현상	소프트웨어 보정 완료	정확도 ±3mm → ±0.5mm
설치 작업	고소 작업 2~3시간 소요	마그네트 방식 설계 중	설치시간 180분 → 5분

5.3 혁신 활동 성과

정기 아이디어 회의 운영

- 월간 정기 회의: 12회 (매월 첫째 주 월요일)
- 분기별 전략 회의: 4회 (각 분기별 1회)
- 총 16회의 체계적 협업 회의 운영

신기술 아이디어 도출

- 기술적 개선 아이디어: 5건 (하드웨어/소프트웨어)
- 후속 특허 기획: 3건 이상
- 응용 기술 확장안: 다중 교량, 타 사회기반시설 적용 방안

조직 역량 강화

- 데이터 기반 의사결정 문화 정착
- 월 1회 이상 개선사항 도출 및 적용
- 기술 노하우 체계적 축적 및 공유

5.4 기술 신뢰성 입증

데이터 신뢰성

- 계측 데이터의 물리적 타당성 확인 (음파 속도, 열팽창계수)
- 온도 변화에 따른 선형 응답 특성 실증
- 구조물의 일일 변화 패턴 정확히 추적

현장 안정성

- 100일 연속 운영으로 시스템 안정성 입증
- 센서 정상 작동률 99.7% 달성
- 비정상 거동 미발생으로 구조적 안전성 확인

6. 2026년도 기술 개발 계획

6.1 개발 주요 목표

2026년도는 2025년의 현장 적용 경험을 바탕으로 기술의 고도화와 실용성 강화에 중점을 두고 다음과 같은 목표를 설정합니다.

- 센서 신뢰도 99% 이상 달성
- 배터리 지속시간 100일 이상 확보
- 데이터 손실률 0.1% 이하 달성
- 다중 센서 네트워크 시스템 구축
- 현장 설치 시간 50% 이상 단축

6.2 2026년도 개발 과제 및 세부 계획

과제 01. 교량의 신축거동 3차원 변위 측정 및 3D 모델 연동

- 목표: 교량의 실시간 3차원 변위 데이터를 직접 3D CAD 모델에 연동하여 시각화하고, 구조물의 거동을 입체적으로 파악할 수 있는 시스템 구축
- 개발내용
 - 계측 센서로부터 획득한 X, Y, Z축 변위값을 3D 좌표계로 변환
 - BIM(Building Information Modeling) 기반 3D 교량 모델과의 데이터 연동
 - 실시간 변위 시각화: 변위 크기를 색상과 그래픽으로 표현
 - 웹 기반 뷰어 개발 (웹 표준 포맷: Three.js, Babylon.js 등)
- 개발 일정
 - Q1~Q2: 3D 모델링 및 좌표 변환 알고리즘 개발
 - Q3: 웹 뷰어 프로토타입 제작 및 테스트
 - Q4: 실제 교량 데이터 적용 및 성능 검증
- 예상 효과
 - 비전문가도 교량 거동을 직관적으로 이해 가능
 - 유지관리 의사결정의 속도 및 정확도 향상
 - 교량 건강도 모니터링의 가시성 극대화

과제 02. 교량의 신축거동 3차원 변위 측정 및 3D 모델 연동을 통한 이상거동 판단

- 목표: 3D 모델 연동 데이터를 기반으로 구조물의 이상거동을 자동 감지하는 지능형 분석 시스템 개발
- 개발 내용
 - 정상 거동 범위(정상 구간) 자동 설정 알고리즘
 - 임계값 초과 시 실시간 경보 생성
 - 거동 패턴 이상치 감지 (급격한 변화, 비대칭성 등)
 - 구조물 부위별 위험도 평가 지도(Heat Map) 생성

- 개발 일정
 - Q1~Q2: 이상치 판단 기준 및 알고리즘 개발
 - Q2~Q3: 통계 모델 기반 판단 시스템 구축
 - Q4: 현장 데이터로 정확도 검증
- 예상 효과
 - 거짓 경보 최소화 (정확도 95% 이상 목표)
 - 구조물 문제의 조기 감지 (기존 점검 기간 50% 단축)
 - 예방적 유지관리 시스템 구축

과제 03. 구조물 고유의 변위 패턴을 분석하여 이상거동 판단

- 목표: 각 구조물의 고유한 거동 특성을 학습하여 패턴 기반 이상거동 판단 시스템 구축
- 개발 내용
 - 구조물별 기준 거동 패턴(정상 상태) 데이터 축적
 - 온도, 습도, 계절 변화에 따른 거동 특성 분석
 - 주기성(Periodicity) 분석: 일일, 주간, 월간 패턴 추출
 - 통계적 모델(회귀 분석, 시계열 분석) 기반 예측 모델 구축
 - 예측값과 실측값 비교로 이상거동 감지
- 개발 일정
 - Q1~Q2: 패턴 분석 알고리즘 및 특성 추출 기능 개발
 - Q2~Q3: 예측 모델 학습 및 검증
 - Q4: 다중 교량 적용 및 정확도 평가
- 예상 효과
 - 구조물별 맞춤형 모니터링 가능
 - 거동의 미세한 변화 추적 (1mm 단위)
 - 계절성, 시간대별 특성 반영한 정확한 판단

과제 04. 중력 기준 막대 기반 구조물 기울기(변위) 측정

- 목표: 기울기(틸트/경사각) 측정 센서 통합으로 수평·수직 변위뿐만 아니라 회전거동도 측정 가능하도록 확장
- 개발 내용
 - 중력 기준 기울기 센서(틸트 센서) 추가 도입
 - 초음파 센서와 기울기 센서의 데이터 융합(데이터 퓨전)
 - 구조물의 3차원 기울기 각도(Pitch, Roll, Yaw) 계산
 - 기울기와 변위의 상관성 분석
- 기술 사양
 - 기울기 센서: MEMS 기반 가속도계 ($\pm 1\sim 2$ 도 정확도)
 - 각도 범위: ± 15 도 이상 측정 가능
 - 응답속도: 100Hz 이상
- 개발 일정
 - Q1~Q2: 센서 선정 및 하드웨어 통합 설계
 - Q2~Q3: 센서 데이터 융합 알고리즘 개발

- Q3~Q4: 현장 시험 및 정확도 검증
 - 예상 효과
- 교량의 기울기 변화 감지 가능
- 구조적 손상(주각 부분) 조기 경고
- 다차원적 거동 분석으로 진단 신뢰도 향상

과제 05: 기포(버블) 중심선 고정 방식 변위 측정

- 목표: 전자식 기울기 센서보다 단순하고 저비용의 기포식 수평계(레벨게이지) 기반 변위 측정 기술 개발
 - 개발 내용
 - 기포(버블) 위치 광학 인식 기술 (카메라 활용)
 - 기포의 중심선 변위를 영상 처리로 측정
 - 이미지 인식을 통한 자동 수평도 판단
 - 초음파 센서 대체 또는 보조 측정 수단
 - 기술 특징
 - 저비용 (초음파 센서 대비 30% 이하)
 - 전력 소비 최소화
 - 기계적 신뢰도 높음
 - 환경 조건 영향 적음
 - 개발 일정
 - Q1~Q2: 이미지 처리 알고리즘 개발 (OpenCV 등)
 - Q2~Q3: 프로토타입 제작 및 실험실 테스트
 - Q3~Q4: 현장 비교 시험 (초음파 센서와 병행)
 - 예상 효과
 - 센서 비용 30~50% 절감
 - 저전력 장시간 운영 가능
 - 거동 감지 신뢰도 유지

과제 06: 안전진단 자동 보고서 생성 시스템

- 목표: 계측 데이터로부터 자동으로 안전진단 보고서를 생성하고 의사결정 자료를 제공하는 시스템 구축
 - 개발 내용
 - 계측 데이터 자동 분석 및 통계 생성
 - 거동 평가 등급 결정 (우수/정상/주의/위험)
 - 구조물 건전도 지수(Health Index) 자동 계산
 - 보고서 자동 생성 (PDF, Excel 형식)

6.3 2026년 개발 기대 효과

단기 효과 - 센서 신뢰도 99% 달성 (고습도 환경 개선)

- 배터리 지속시간 100일 이상 확보
- 3D 시각화 프로토타입 완성
- 자동 보고서 시스템 50% 이상 완성

중기 효과 - 다중 센서 네트워크 (3개 교량, 총 15개 센서) 구축

- 이상거동 자동 감지 시스템 정상 운영
- 보고서 작성 시간 80% 단축
- 기울기/기포식 센서 성능 평가 완료

장기 효과 (2027년 이후)

- 국제 표준 준수 (ISO 13823, ASTM 등)
- 국내외 시장 확대 (타 교량, 건물, 터널 적용)
- AI/머신러닝 기반 고도화된 예측 유지관리
- 글로벌 IoT 플랫폼 통합

6.4 2027년 이후 장기 계획 (예상)

- 2027년 주요 과제 - 머신러닝 기반 거동 예측 시스템 - 모바일 앱 완성 (iOS, Android) -
다중 교량 통합 관리 플랫폼 - AR 시각화 프로토타입
2028년 이후 - 딥러닝 기반 구조 손상도 평가 - 국내 특허 외 해외 특허 출원 (미국, 유럽, 중국) - 글로벌 파트너 네트워크 구축 - 제품 라인 확대 (건물, 댐, 터널 진단)
-

7. 종합 평가

2025년도 안전진단 업계에서의 특허 기술 개발 및 활용 활동을 종합적으로 평가하면:

기술 개발의 실체성

- ✓ 등록된 3건의 특허를 기반으로 실제 장치 제작 및 현장 적용
- ✓ 100일간 1,440회의 계측 데이터 확보로 신뢰성 입증
- ✓ 계측된 데이터의 물리적 타당성 확인 (열팽창계수 일치)

지속적인 개선 활동

- ✓ 68회의 정기 아이디어 회의를 통한 체계적 혁신
- ✓ 현장에서 발견된 5대 문제점에 대한 구체적 해결책 제시
- ✓ 2026년 6대 개발 과제 로드맵 수립

기술 혁신 문화

- ✓ 전 팀원이 참여하는 열린 아이디어 제안 체계
- ✓ 채택된 아이디어의 신속한 구현 (온도 보정 알고리즘 1개월 내 적용)
- ✓ 실패를 학습기회로 보는 긍정적 조직문화 정착