제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "플랜트 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 솔루션 개발"과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 07.

주관연구기관명 : 비티컨설턴트(주)
주관연구책임자 : 최 인 혁 대표이사
연 구 원 : 이 영 규 이사
" : 박 재 형 차장
" : 홍 동 수 과장
" : 전 선 우 과장
" : 김 진 양 과장
" : 임 솔 대리
공동연구기관명 : (주)한국플랜트관리
공동연구책임자 : 박 수 열 대표이사
연 구 원 : 강 성 민 과장
" : 여 금 수 주임
" : 김 준 범 대리
공동연구기관명 : 전자부품연구원
공동연구책임자 : 신 준 호 책임연구원
연 구 원 : 임 재 윤 연구원
" : 윤 홍 구 연구원

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>14CTAP-C
063170-03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td colspan="2">2012.08.31~
2014.07.31</td><td>단 계 구 분</td><td>-</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="6">국토교통기술사업화지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="5">플랜트 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 솔루션 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단위과제명</td><td>공동</td><td colspan="4">플랜트 지반 모니터링 전용 무선기반 데이터 수집솔루션 개발</td></tr>
<tr><td>공동</td><td colspan="4">u-GISN 인터페이스 및 Geo 센서 적용기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>최 인 혁</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 14 명
내부 : 14 명
외부 : 0 명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부 :500,000천원
기업 :400,000천원
계 :900,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">전자부품연구원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">비티컨설턴트(주),
(주)한국플랜트관리</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="6">상대국명 : - 상대국연구기관명 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">보유 기술은 국토해양부 첨단도시개발사업을 통하여 개발된 지상고정형 모니터링 기술로써 사회적 자원 낭비와 안전에 심각한 영향을 미치는 지반의 지능화를 위하여 개발 맞춤형 유비쿼터스 융합기술인 u-GISN(Ground Information sensor Network)임. 플랜트 시설물 내 지반의 환경적 특성과 모니터링 방안 분석을 위해 USN기반 통신 기술, 정확도 높은 저전력 센서 기술, 신뢰성 기반의 플랫폼 기술 등의 기반 기술을 연구하고 현장 적용을 위한 Open Platform 형태의 지반 u-GISN(Ground Information sensor Network) 패키지 기술의 개발하였음. 개발된 기술을 플랜트 시설물의 지반에 적용하여 운용 및 플랜트 현장에서의 지상고정형 모니터링 기술을 사업화 하고자 함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="5">u-GISN, 스마트 센서, 고신뢰성, 지반 모니터링 기술, 플랜트</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="5">Ground Information Sensor Network, Smart Sensor, Smart Sensor, Ground Monitoring Technique, Plant</td></tr>
</table>

요 약 문

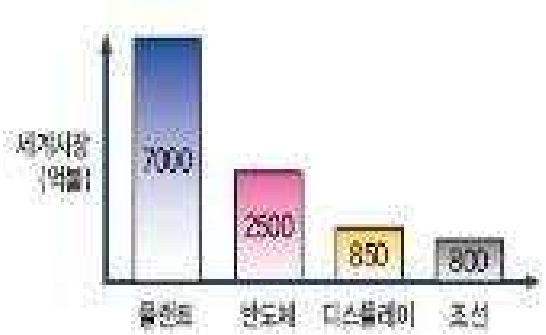
Ⅰ. 제 목

플랜트 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 솔루션 개발

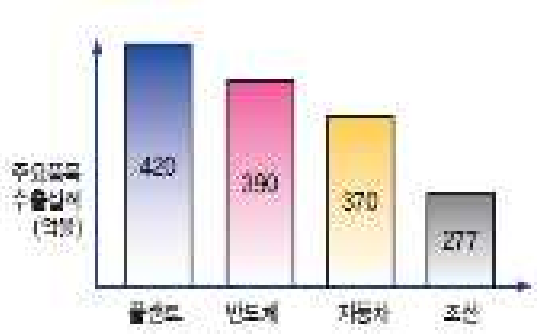
Ⅱ. 연구개발과제 개요

1. 연구개발의 필요성

○ 원자력 발전소, 해수담수화, 석유화학, LNG 등 플랜트 산업은 고부가가치를 창출하는 중요한 국가기반 산업으로 그 범위는 점점 확대되고 있음. 2009년에 지식경제부의 발표에 의하면 <그림 1>과 같이 2006년 세계 플랜트 시장 규모는 약 7000억불로 다른 산업에 비해 그 비중이 매우 높음. 이와 더불어 국내 플랜트 산업도 해외수주가 급증하며 <그림 2>와 같이 2007년 타 산업에 비해 차지하는 비중이 높아졌음.



<그림 1> '06년 주요 산업 세계시장규모



<그림 2> '07년 국내 주요 산업 실적 비교

○ <그림 3>과 같이 국토해양부 연구개발 사업을 통하여 개발된 u-GISN(Ground Information sensor Network) 패키지 기술은 사면의 설치 환경적 특성을 고려하여 완성된 기술로써 연약지반의 실시간 변위를 예측하기 위한 센서와 사면에 적합한 무선 통신 및 설치 적용기술을 성공적으로 개발함.



<그림 3> 기 개발된 기술내용

○ 지반 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 패키지 기술의 성공적인 사업화와 기 연구개발의 목표술 확산을 위해서는 개발된 기술을 타 분야의 적용을 통해 연약지반에 대한 연구가 필요함. 매립지와 같은 연약지반인 경우 복합 지반/지중으로 지반 특성의 파악하기 위한 지반조사 및 설계 정보가 필요하며, 사면의 센서 설치를 위한 제약 조건이 많으며 통신 환경 측면에서도 열악하여 지반 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 패키지 기술의 적용을 위해서는 추가적인 개발이 필요함.

2. 연구개발의 목적

○ 국가 주요 지반의 지중환경 정보를 실시간 탐지하여 새로운 u-지중환경 정보 기반 서비스인 u-GISN을 개발

○ u-GISN을 이루는 u-GISN 센서노드 패키지, 게이트웨이, 지중모니터링 S/W, 해석 S/W를 플랜트 시설물 내 연약지반에 맞도록 개발하고 플랜트 시설물 내 연약지반에 Testbed를 구축하여 이를 검증 및 기술 사업화



<그림 4> 연구개발의 목표

3. 연구개발의 기반기술

○ u-GISN, 지반정보 수집센서 멀티모듈, 융합 게이트웨이 기술 개발

디지털침하센서, 간극수압센서 등의 u-GISN 센서의 데이터를 전자적으로 마이크로컨트롤러에서 데이터를 가공하여 IEEE 802.15.4, WiFi, GPRS 등의 무선을 통해 센터로 데이터를 전송함으로서 국지적이고 단편적인 현재의 지반 정보 수집에서 광역적, 실시간의 지반 정보 수집



<그림 5> 게이트웨이

○ 지반 정보 수집에 적합한 Geo 센서 적용기술

Power AMP USN Mote는 BASE BAND가 2.4~2.4835GHz이며, 250Kbps의 통신 속도를 지원함. 무선센서네트워크에 주로 사용되는 embedded OS인 TinyOS를 탑재하였고 장

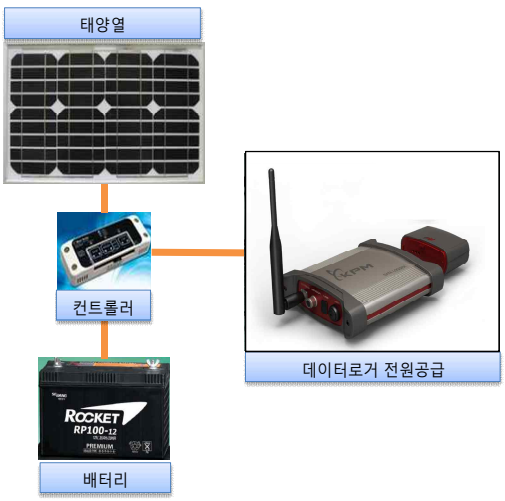
착되어 있는 Chip ANT는 실내에서 약 10m를 도달하며, 실외에서 약 80m까지 도달한다. Case장착 시 약 10%의 Loss를 보였음.



<그림 6> 멀티 센서 인터페이스를 지원하는 u-GISN

○ u-GISN 에너지 공급 모듈 및 네트워크 시뮬레이터 개발

기존 에너지 모델을 배터리 특성을 적용한 배터리 모델 개념으로 좀 더 세분화 시켜 적용하였으며 기존 실험에서의 단순히 방전 되는 에너지만을 고려한 것이 아니라, 에너지 하베스트 관점을 고려하여 태양열 및 풍력 센서 네트워크 환경에서 자가 충전을 얻을 수 있다는 가정 하에 배터리 충전 모델링을 적용하였음. 그리고 배터리 모델은 전자기기에서 널리 쓰이고 있는 리튬이온, 리튬 폴리머, 알카라인 배터리 모델을 적용하여 실험을 수행하여 신뢰성 있는 에너지 소모 측정함.



<그림 8> 에너지 공급시스템

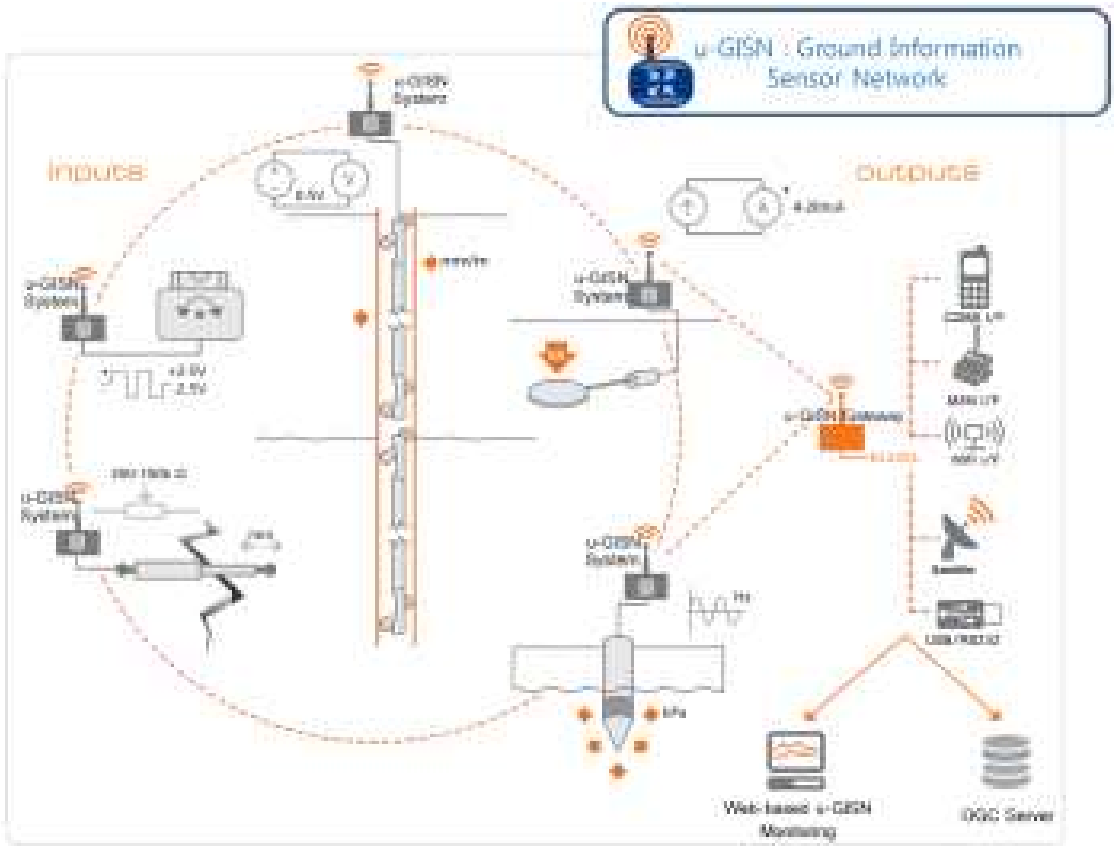
○ u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 구현

데이터 전송 관리를 위한 소프트웨어는 크게 두 가지로 구분되어 연구되었음. 첫째는

소프트웨어 구조이며, 둘째는 에너지 절약을 위한 효율적인 프로토콜임.

○ u-GISN 산업용 패키징 기술 개발

데이터 전송 관리를 위한 소프트웨어는 subsystem의 데이터 획득을 위한 작업에만 국한되는 것이 아니라 데이터 프로세싱, subsystem 제어 및 상태 관리를 해야 하기 때문에 계층 간의 역할분담과 그에 따른 하드웨어 플랫폼에 차이가 있는 Tiered 구조가 적합함.



<그림 8> u-GISN의 개념

○ u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 실용화

u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 실용화 측면에서 u-GISN 에서의 계측의 목적, 설치 시기, 위치 등을 표준화하였으며 이를 통해 하드웨어 스펙을 정하였으며 소프트웨어의 구성을 기존 상용제품 분석을 통해 기존 토목 분야에서 사용하는 소프트웨어에서의 운용 설계인터페이스를 호환되도록 유지하여 플랫폼 데이터 및 전송기술의 실용화를 유지



<그림 9> USN 무선데이터로거

4. 연구개발의 기술성

○ 기존의 A사 제품과 전자부품연구원 개발 제품의 VW타입(간극수압계) 전력 소비량 비교

- 개발된 제품의 전력 소모량은 기존 VW로거 대비 약 30% 수준으로 개발 제품 이 더욱 저전력으로 동작.



<그림 14> A사 제품과 전자부품연구원 개발 제품의 전력 소모량 비교

○ 해외 선진 제품과의 기술비교(DT8 Battery Power(영국), CR10X(미국))

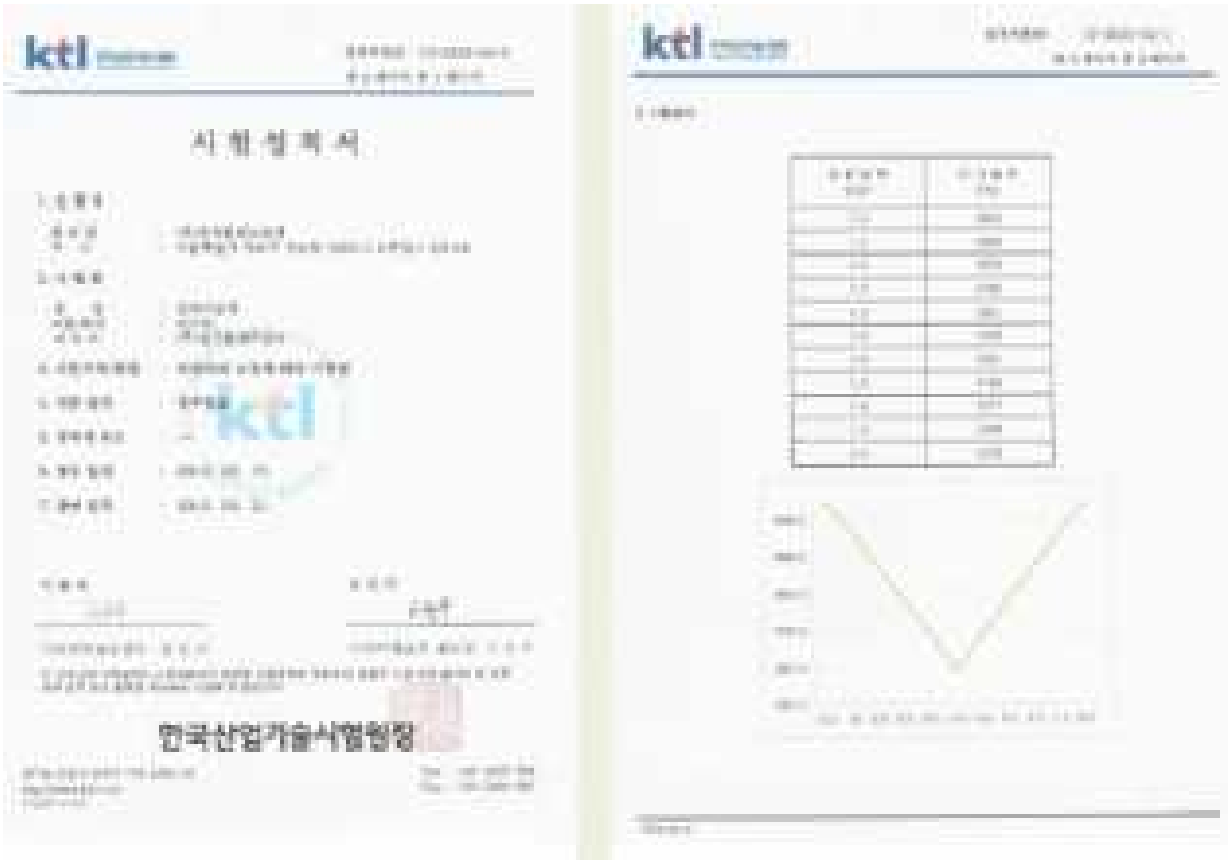
- 기존 DAQ 대비 저전력으로 동작.
- Active, Stand by 상태에서는 해외 제품에 비해 저전력으로 동작.
- Sleep 상태는 CR10X 보다 낮은 전력소모량을 가지나 DT8 보다는 높은 전력 소모량을 나타냄
- Solution Cost는 2개 VW 및 M2M I/F, 모니터링S/W를 포함한 패키지 가격임.

	u-GISN	DT8 Battery Power	CR10X
Active	275mW	1200mW	552mW
Standby	50mW	300mW	156mW
Sleep	< 10mW	2mW	15.6mW
Solution Cost	$4,400	$8,000	$13,500

<그림 15> 해외 선진 제품과의 기술비교

○ u-GISN 성능 인증

- 공인증기기관을 통한 성능 검증 수행
- 상용제품과 동일한 성능 구현
- 간극수압계, 경사계 검증 완료



<그림 16> 공인인증기관을 통한 성능 검증 수행

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

1. 연구개발의 수행 내용

가. 기술개발 목표

○ 지상고정센서형 모니터링 기술 개발 및 사업화
- 국가 주요 지반의 지중환경 정보를 실시간 탐지하여 새로운 u-지중환경 정보 기반 서비스인 u-GISN을 개발
- u-GISN을 이루는 u-GISN 센서노드 패키지, 게이트웨이, 지중모니터링 S/W, 해석 S/W를 플랜트 시설물 내 연약지반에 맞도록 개발하고 플랜트 시설물 내 연약지반에 Testbed를 구축하여 이를 검증 및 기술 사업화

나. 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가	▪ 기존 사회기반 시설물 계측기술 분석 ▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 분석
	▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발 / 제작	▪ ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발 ▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 방폭 재질의 시제품 설계
	▪ 플랜트 시설물 지반에 Geo 센서 적용기술 개발 및 인터페이스 검증	▪ 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술 개발 ▪ 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증
2차년도	▪ 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석	▪ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축 ▪ 기존 계측시스템과의 성능 및 계측결과 비교를 통한 신뢰성 분석
	▪ u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	▪ 개발된 무선 통신 데이터로거 성능 보완 ▪ 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 제작 및 성능 검증
3차년도	▪ 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보	▪ 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축 ▪ 요소기술 패키징을 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합을 통해 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션을 확보
	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 및 게이트웨이 개발	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 개발 ▪ 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발
	▪ 플랜트 시설물 평가 기술연구 개발	▪ 플랜트 시설물 상태 평가 시스템 구축 ▪ 향후 플랜트 시설물에 적용 가능한 상태 평가 기술 제시

2. 연구개발의 결과

(1) ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발

○ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터 로거 개발

○ 데이터로거의 주요 구성은 무선 통신을 위한 통신부, 칩셋을 컨트롤하고 데이터를 주고받기 위한 CPU부, 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 ADC(24bit)부, 시각 동기화를 위한 RTC부, 센서의 DATA를 저장하기 위한 외부 저장 메모리부, 그리고 전원공급부로 구성



<데이터 로거 시작품>

- 시작품 사양

항목	내용
Measuring channel	1-channel
Measuring range	±5V
Current consumption	150mA ~ 190mA
Power supply	9 ~ 12V
ADC resolution	고속 ADC 24bit (50Khz)
Sampling rate	100, 200, 128, 256, 512, 1024Hz
Low Pass Filter	100, 500, 1KHz, 2KHz
Communication	ISA100
Interface	TCP/IP, UDP, USB
SD CARD	Micro SD(FAT 32 지원)
RTC	정밀 RTC 내장(3ppm ~ 8ppm)
Size(mm)	130*125*38
Operation Temperature	-30℃ ~ 80℃

(2) 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 설계

○ 가스, 석유화학, 원자력 구조물에 설치하기 위해서는 최소한의 방폭규정을 만족하여야 한다. 2차년도에 방폭인증을 만족하는 케이스 금형 설계 및 양산을 하기 이전에, 설계, 샘플 목업 제작을 진행하였다.

○ 플랜트시설물의 안전감독기관인 한국가스안전공사와의 협의를 통하여 방폭인증을 획득할 수 있도록 제작사항을 협의 완료하였다.



<방폭케이스 샘플 목업>

(3) 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가

- 플랜트 현장에 데이터로거 가설치 후 플랜트 환경에서의 무선 통신 성능시험 수행
  : 여수 국가산업단지 파이프랙 및 박스컬버트 구간
  : 현장 상용전원을 활용하여 전원공급
  : 플랜트 환경용 데이터로깅시스템을 모사한 현장 테스트용 데모킷 제작 및 활용
- 무선센서노드 및 게이트웨이 간 통신 테스트 수행
  : 정적 데이터 및 동적 데이터 취득 시험
  : 동적 데이터는 초당 512개 데이터 정상 취득
- 다종의 구조물 계측 센서와 연동한 데이터 취득 시험
  : 적용 센서 - 경사계, 온도계, 수위계, 가속도계, 변형률계, 풍속계

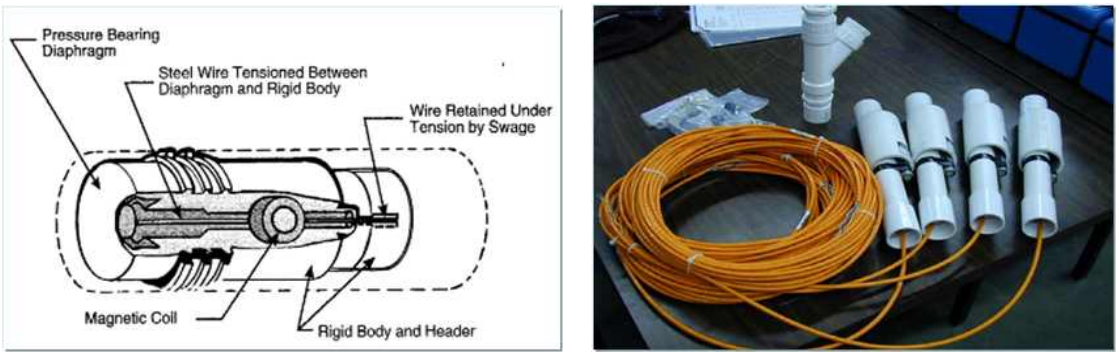
(4) 지반 정보 수집에 적합한 Geo 센서 적용기술 개발

○ Vibrating Wire Sensor

VW Piezometer는 지반의 간극 수압이 격판에 작용하면 격판에 연결된 진동현의 인장력과 고유 진동수가 변화되고 이때 전자기 코일로 현을 진동시킬 때 발생하는 교류 전압의 진동수를 간극 수압 값으로 환산하여 측정



<여수 테스트베드 구축 현황>

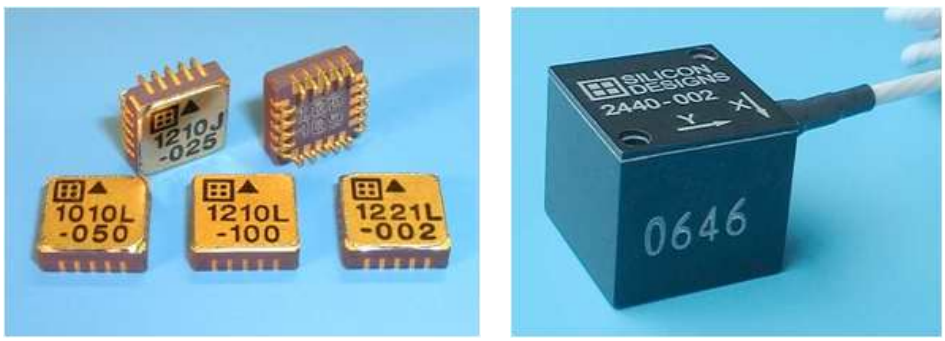


<Vibrating Wire Sensor의 구조, 실물사진>

○ Low Noise Analog Accelerometer

2축가속도 기반의 센서로 X축과 Y축에 대해서 각각 2g의 Full Scale 입력 범위를 가지는 정밀 MEMs 형태의 센서로 미소 진동 측정에 활용 가능

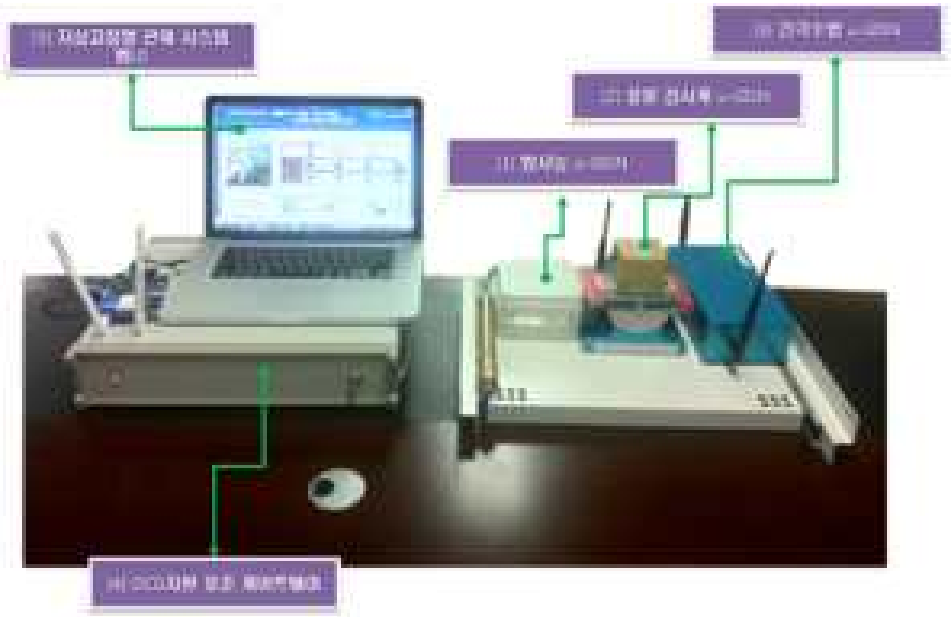
내부에 가속도 데이터와 동시에 온도 센서가 포함되어 있는 구조를 가짐



<Low Noise Analog Accelerometer 실물 사진>

(5) 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증

- 플랜트 지반 및 시설물 계측에 사용될 수 있는 다양한 센서들에 대한 인터페이스 검증 수행



<인터페이스 검증을 위한 테스트 시스템>

(6) 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석

○ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축

1) 여수 산업단지 내 테스트베드 구축

-> 기존 계획에서 여수화학단지의 테스트베드 시험구축으로 현장에 유선계측시스템 도입으로 케이블 작업 및 추가 설치 등을 동의하지 않아 무선계측시스템의 성능 검증(한국플랜트관리 연구내용)만 수행하였음.



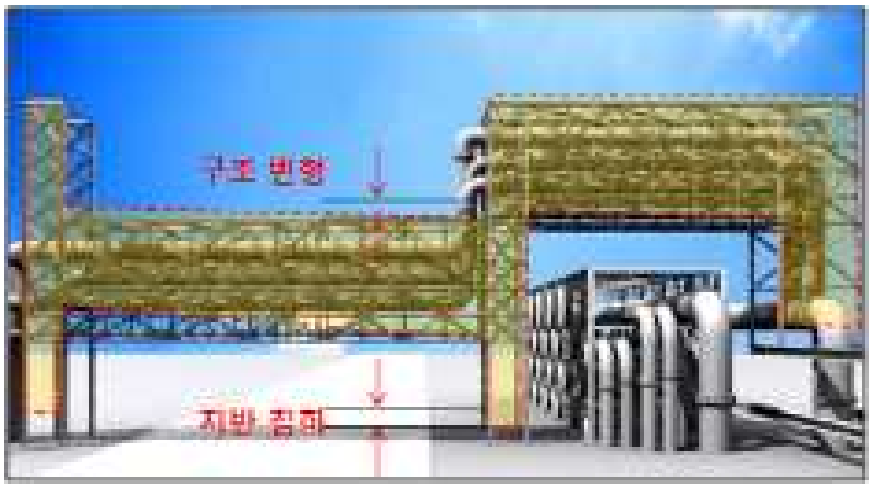
<여수 국가산업단지 플랜트 현장 테스트베드 시설물>

2) u-GISN의 성능 및 신뢰성 분석을 위한 플랜트지반 유사현장에서의 실험

-> 여수화학단지 내의 유/무선 계측시스템의 신뢰성 분석이 용이하지 않아, 유사시설물로 교량 가설벤트 구조물과 사면현장에 유/무선 계측시스템을 도입하여 신뢰성 분석을 수행함

○ u-GISN의 성능 및 신뢰성 분석을 위한 유사현장 실험

· 플랜트지반을 모니터링하는데 있어 대표적인 항목은 지반의 침하와 그에 따른 플랜트 구조물의 변형에 따른 상태를 평가하는 것임.



<플랜트지반의 대표적인 모니터링 항목>

· 하지만 앞서 언급한 바와 같이 여수화학단지의 테스트베드 시험구축 현장에서 유선계측 시스템 설치에 따른 케이블 및 추가 설치가 용이하지 않아 각각의 모니터링 항목을 시뮬레이션 할 수 있도록 타 유사 현장에서 u-GISN과 유선 계측시스템을 설치하여 u-GISN의 성능 및 신뢰성을 분석하였음.

(7) u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발

▪ 내압 방폭 규정인 EX d IIC T5 IP68 규정을 만족하도록 제작

⇒ 한국가스안전공사 방폭인증부와 협의를 수행하였음(1차년도)

⇒ 내압 방폭 규정(EX d IIC T5 IP68)에 맞도록 설계, 제작하여 한국가스안전공사 방폭인증부를 통해 방폭 인증 신청함



심사결과 통지서

<한국가스안전공사 방폭 인증 실험결과 통지서>

▪ 1차년도에 개발되어진 데이터로거 회로부를 방폭형 케이스에 맞도록 수정/제작하여 내장하여 성능 검증

⇒ 1차년도에 개발된 데이터로거 회로부 보드를 방폭형 데이터로거에 맞도록 설계 및 제작 수행함

⇒ 방폭형 데이터로거 회로부 보드는 센서 인터페이스보드, 전원보드, 메인보드, LCD보드, 배터리팩보드로 구성되었음



<방폭 데이터로거 회로 보드제작>



<방폭 데이터로거 회로 보드제작>

▪ 계측기능 및 무선통신 기능이 들어갈 내부 파트부 금형 제작

⇒ 회로 보드설계, 내부 기구설계 및 외부 금형 설계를 기반으로 파트별 3D 랜더링 이미지를 제작하여 제품의 완성도를 높였으며, 설계를 기반으로 회로보드, 내구 기구부, 금형을 제작 완료 하였음



< 파트별 3D 랜더링 이미지 >



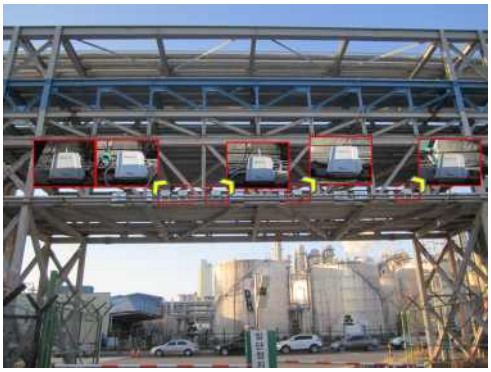
<방폭 데이터 로거 금형 제작>



<방폭 데이터 로거 기구부 제작>

(8) 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축

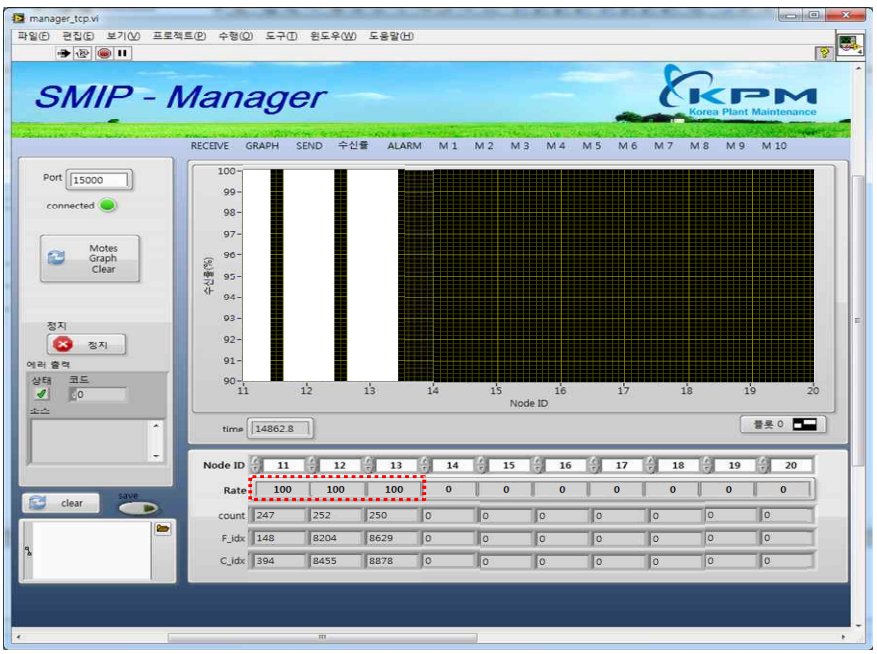
⇒ 여수국가산업단지 내 10-2구간 상부 구조물에 위험도 평가를 위한 계측시스템 구축 함.



< 여수산업단지 내 10-2구간 상부구조물 위험도 평가 시스템 구축>

⇒ 여수국가산업단지 내 10-2구간 상부 구조물에 방폭형 무선 데이터 로거를 추가 설치하고 계측 성능 및 통신 성능 확인

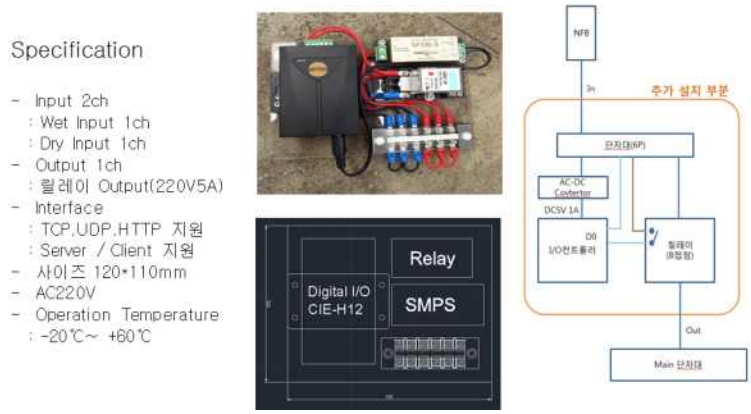
⇒ 상부구조물에 설치된 방폭형 무선 데이터 로거의 계측 및 통신 성능 확인 결과 데이터 값이 누락 없이 100%의 수신률을 보임 .



< 방폭형 무선 데이터 로거 통신 수신률 확인 >

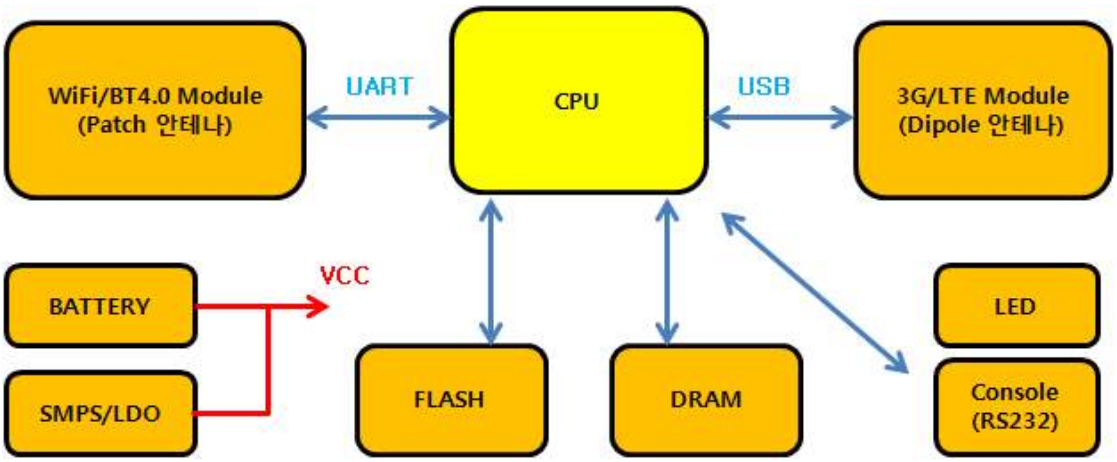
(9) 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발

⇒ LTE 광역통신 기술을 활용한 원격지 시스템 제어



< 원격지 시스템 제어가 가능한 게이트웨이 개발 >

⇒ 게이트웨이는 지반 환경 센서의 입력을 받아들이도록 설계되었으며, 센서와의 통신을 위한 모듈과 외부 원격 단말과의 통신을 위한 모듈이 장착하는 구조로 시스템 사양으로는 시스템의 원활한 구동과 통신모듈과의 연동을 위해 Cortex CPU와 최대 1GByte의 RAM을 채택하여 지연 없는 원활한 운영환경을 구축하도록 설계



< 게이트웨이 블록다이어그램 >

- 메인 프로세서 : ARM Cortex 계열 사용
- 운영체제 : 임베디드 리눅스
- 메모리 : 256MB ~ 1GB 운용 (현장 상황 및 센서에 따라 결정, 운영)
- 유선 네트워크 인터페이스 : 10/100 00BASE-T RJ45 -1 socket
- 무선 네트워크 인터페이스 : WiFi, LTE 통신 모듈 지원
- 각종 센서 연동을 위한 GPIO 인터페이스 지원

(10) 플랜트 시설물 상태평가 시스템 구축

⇒ 본 연구에서 개발된 플랜트 시설물 상태평가 시스템은 다음과 같은 기능을 가진다.

- u-GISN에서 측정된 계측결과를 데이터베이스 및 파일에 저장
- 계측 데이터베이스를 관리하여 클라이언트의 요청에 의해 자료를 제공
- 저장된 데이터의 표출 및 상태 분석/평가

상태평가 시스템은 아래의 그림과 같이 센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환(Analog-to-Digital Convert)하여 저장하는 u-GISN, 계측된 신호를 읽어 후처리(post-processing)를 거친 뒤 데이터베이스에 저장하고, 실시간 계측 신호를 제공하는 기능을하는 서버 프로그램, 그리고 저장된 계측데이터를 표출하고 통계분석, 상관분석 등을 수행하는 상태평가 프로그램으로 구분된다. 본 연구에서 개발된 서버 프로그램과 상태평가 프로그램은 Delphi 언어로 개발되었으며, 사용된 데이터베이스는 MySQL을 사용하였다.



<플랜트 시설물 상태평가 시스템>

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

1. 최종 연구성과 내용

성과목표	성과지표	목표치	달성치	달성도
논문	학술회의 발표 논문 건수	2건	2건	100%
지적재산권	소프트웨어 등록 건수	1건	1건	100%
품질인증	공인인증기관 품질인증	1건	1건	100%
기술성능 목표달성	공인인증기관 시험성적서	2건	3건	150%
사업화	시제품 출시 건수	1건	1건	100%
지적재산권	특허출원건수	1건	1건	100%
테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 실적 건수	1건	1건	100%

2. 연구성과 적용실적

○ GS칼텍스 석유부두 부두 충돌 모니터링 시스템 구축

GS Engineering & Construction

Gran Seoul, 33, Jong-ro, Jongno-gu, Seoul, 110-130, Korea

REQUISITION

(FACING SHEET)

REQ. NO. 140100-RQ-J-101

SHEET 1 OF 1

DATE Apr. 15, 2014

GSENC JOB NO. 140100

COST CODE

PREPARED BY K.M.Kang

CHECKED BY D.J.Lee

REVIEWED

APPROVED: D.Y.Kim

PROJECT: No.2 Crude Wharf Recovery Project

DISTRIBUTION

(DISTRIBUTE THIS COPY TO LOCATION CHECKED)

ORDER FOLLOWING SHIPPED TO :

GS Caltex, Yeosu, Korea

MATERIAL DESCRIPTION:

부두충돌 MONITORING SYSTEM

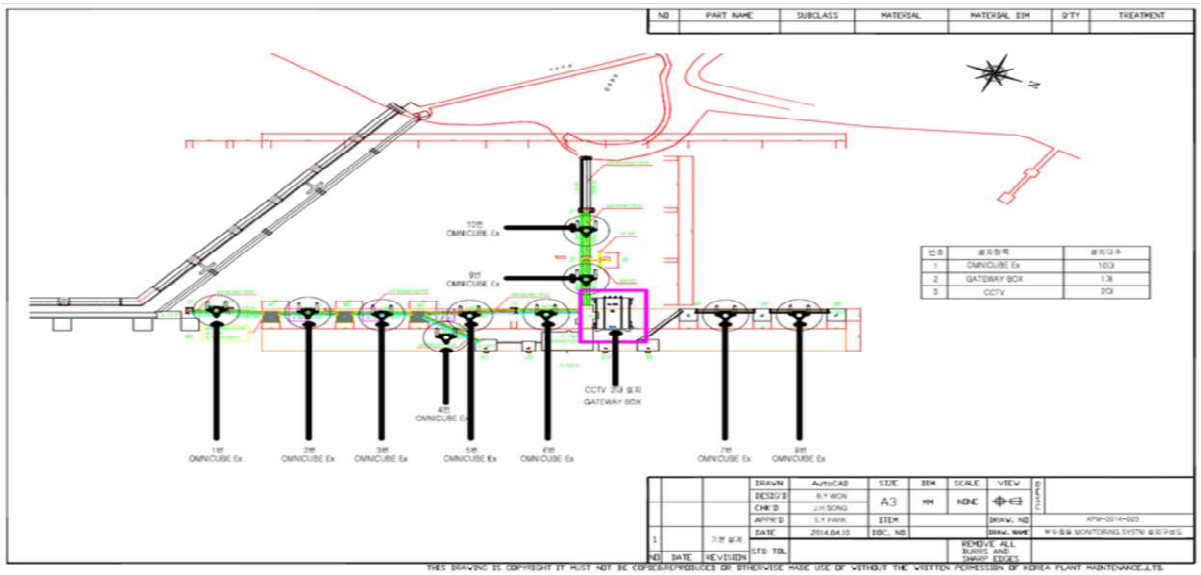
PLEASE PURCHASE OR DEVELOP QUOTES FOR MATERIAL LISTED

ON THE FOLLOWING PAGES 1 THROUGH 4

LATEST ACCEPTABLE DELIVERY DATE IN FIELD:

GSENC H/O

<부두 충돌 모니터링 시스템 구축 요청서>



<부두 충돌 모니터링 시스템 구축 도면>

3. 연구성과의 시장 전망

◦ 국내 RFID/USN 시장은 한국 RFID/USN 협회의 산업실태조사 결과를 기반으로 세계 시장성장률을 반영하여 추정할 때 2008년 약 9천4백억 원 시장에서 2018년에는 25조4천7백억 정도에 이를 것으로 전망

◦ RFID/USN 기기 시장의 경우에는 2008년 약 6천8백억 원 시장에서 2018년에는 6조4백억 원 정도의 규모를 형성할 것으로 예측

◦ RFID/USN 서비스(소프트웨어 포함) 시장의 경우에는 2008년 약 2천6백억 원 규모에서 2018년에는 19조4천3백억 원 정도에 이를 것으로 예측

◦ 국내 RFID/USN의 세계 시장점유율은 2008년 9.2% 수준에서 2018년에는 20%를 차지할 것으로 예상되며, RFID/USN의 GDP 비중 또한 2008년 0.09% 수준에서 2018년에는 0.92% 정도에 이를것으로 전망

◦ 국내 시장의 경우 전자식 계측기 시장은 2006년 이후 매년 30% 이상의 매출 증가를 보일 것으로 예상된다. 반면 USN기술은 매년 2배 이상의 폭발적인 성장이 예상됨

◦ 기술수요처

수요처	국명	수요량	관련제품
GS칼텍스	대한민국	1,000 set	- 산업 설비 자동제어 및 관리 시스템 - 침하, 배관부식 및 균열 진단 시스템
SK에너지	대한민국	1,000 set	
Arkema Inc.	미국	5,000 set	
Shell	다국적	100,000 set	

V. 연구목표 달성 및 효과

1. 최종목표 달성도

연구목표	달성도(%)	주요 연구내용
▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가	100	▪ 기존 사회기반 시설물 계측기술 분석 ▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 분석
▪ 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석	100	▪ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축 ▪ 기존 계측시스템과의 성능 및 계측결과 비교를 통한 신뢰성 분석
▪ 플랜트 시설물 평가 기술연구 개발	100	▪ 플랜트 시설물 상태 평가 시스템 구축 ▪ 향후 플랜트 시설물에 적용 가능한 상태 평가 기술 제시
▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발 / 제작	100	▪ ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발 ▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 방폭 재질의 시제품 설계
▪ u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	100	▪ 개발된 무선 통신 데이터로거 성능 보완 ▪ 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 제작 및 성능 검증
▪ 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보	100	▪ 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축 ▪ 요소기술 패키징을 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합을 통해 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션을 확보
▪ 플랜트 시설물 지반에 Geo 센서 적용기술 개발 및 인터페이스 검증	100	▪ 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술 개발 ▪ 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증
▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 및 게이트웨이 개발	100	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 개발 ▪ 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of Plant u-GISN(Ground Information Sensor Network) Solution

Ⅱ. Outline of The Research Development Project

1. Need of The Research Development

○ A critical state-based industry of creates high-value is increasingly expanding its range, such as nuclear power plants, seawater desalination, petrochemicals, LNG plant industry. According to the announcement of the Ministry of Knowledge Economy as <Figure 1> increase very high compared to other industries, the proportion of about 7000 billion 2006 global plant market in 2009. In addition, industrial plants are growing domestic and overseas orders increase the share of industry in 2007, as compared to other <Figure 2>.



<Figure 1> Major industries worldwide market in 2006



<Figure 2> Comparison domestic industry performance in 2007

○ Displacement sensors for real-time prediction of soft ground considering as a are completing installation of surface technology developed by the Environmental Research and Development Project of Land, Transport and Maritime Affairs as <Figure 3> u-GISN (Ground Information sensor Network) package technology also successfully developed a surface suitable for wireless communications and applied technology installed.



<Figure 3> The development of information-based technologies

○ Ground u-GISN(Ground Information Sensor Network) is successful commercialized and diffusion of technology package technology requires research on soft ground areas through the application of other techniques have been developed. If the ground is soft like a landfill with a composite soil / ground and ground survey information that is designed to determine the geotechnical characteristics and needs, and constraints for the installation of the sensor surface often to poor communication environment in terms of soil u-GISN package technology requires further development.

2. Objective of The Research Development

○ Development of the new u-GISN underground environment information based on the national environmental information service by real-time detection of the underground soil

○ To achieve u-GISN by sensor node package, Gateway, underground monitoring S/W, to match the plant facilities in soft ground in the interpretation S/W development and to build a plant Test-bed facilities in soft ground it to validate and technology commercialization



<Figure 4> Goal of Research Development

3. Foundation Technique of The Research Development

○ Development of u-GISN, ground multi-sensor module collection information, Convergence Gateway

By transmitting data by processing the data from the data sensors, such as digital u-GISN depression sensor, pore pressure sensors, such as electronically, in the microcontroller via IEEE 802.15.4, WiFi, GPRS radio in the center of local and fragmentary current broad-based foundation of real-time information collected from geotechnical information collected



<Figure 5> Gateway

○ Apply appropriate soil information collected Geo Sensor Technology

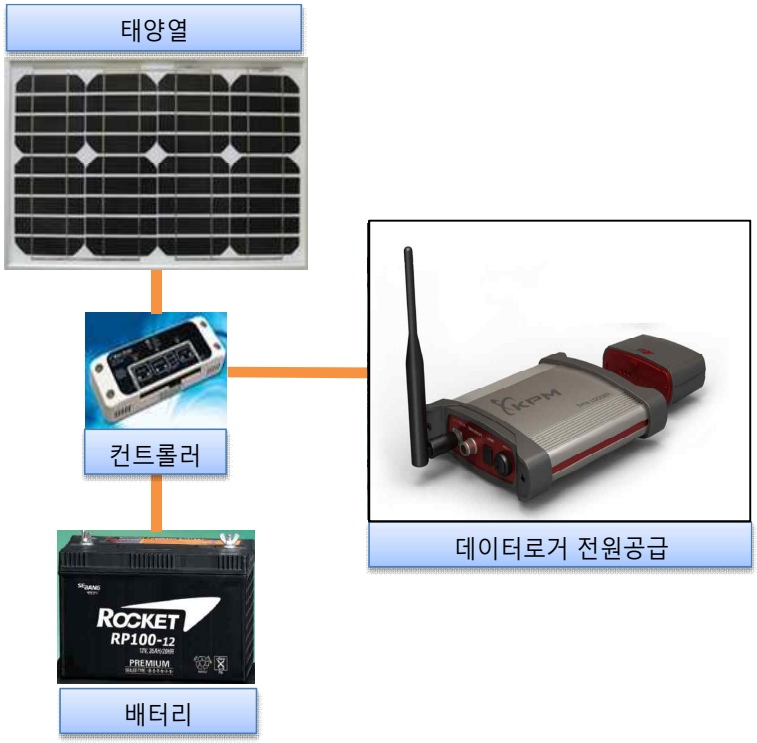
The BASEBAND is 2.4 ~ 2.4835GHz, Power AMP USN Mote is supports the communication speed of 250Kbps. Chip ANT was equipped with an embedded OS TinyOS is commonly used for the wireless sensor network is in a room of about 10m reaches the to reach from outside to about 80m.



<그림 6> U-GISN to support multi-sensor interface

○ u-GISN energy supply module and network simulator

That the self-charging in solar and wind energy harvesting sensor networks, taking into account the point of view that is simply the discharge energy is only considered in the previous experiment, but, as you apply the concept to the existing battery Battery Model properties more energy to refine the model was applied to obtain assuming the battery charge applies modeling. And energy consumption is measured by performing an experiment with a reliable widely used in electronic devices Lithium Ion, Lithium Polymer, alkaline batteries, the battery model by applying the model.



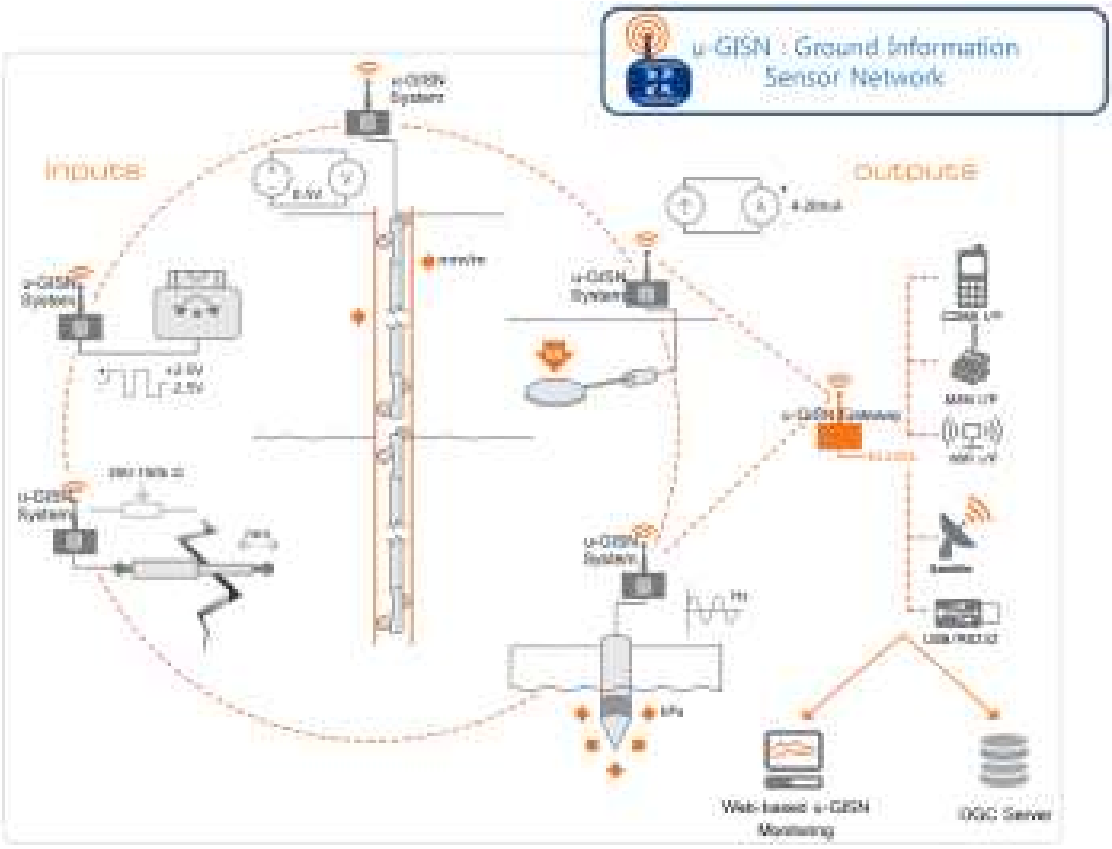
<Figure 8> energy supply system

○ Technical implementation of data transmission platform u-GISN

The study was divided into two large software for data management. The first is the software structure, Im efficient protocol for energy-saving second.

○ u-GISN industrial packaging technology

Structure is suitable for the difference in the role division between the layers and hence the hardware platform because it has to the data processing, subsystem control, and the state management is limited to tasks for the data acquisition subsystem as a software for managing the data transfer.



<그림 8> u-GISN의 개념

○ u-GISN platform data transfer technology commercialization

Standardized in terms of u-GISN platform technology commercialization was the purpose of the measurement data in u-GISN, installation time, location, information was used from the hardware specs it through existing civil engineering through the analysis of the structure of existing commercial software products maintaining the practical use of the platform data and transmission technology to maintain a compatibility of the software operation interface



<Figure 9> USN wireless data logger

4. Technology of The Research Development

○ Compared to a type of VW products and electronic components Researchers develop existing products (pore water pressure system) power consumption

- Low-power operation with developing more products with VW about 30% compared to the existing logger power consumption of the developed product.



	A사	KETI 개발 제품
전압	5V	5V
전류	54mA	16mA
전력	270mW	80mW

개발된 제품의 전력 소모량은 기존 VW로거 대비 약 30% 수준임.

<Figure 14> A Comparison of power consumption and Electronics Technology Institute Inc. product development

○ Compared with foreign advanced technology products (DT8 Battery Power (UK), CR10X (USA))

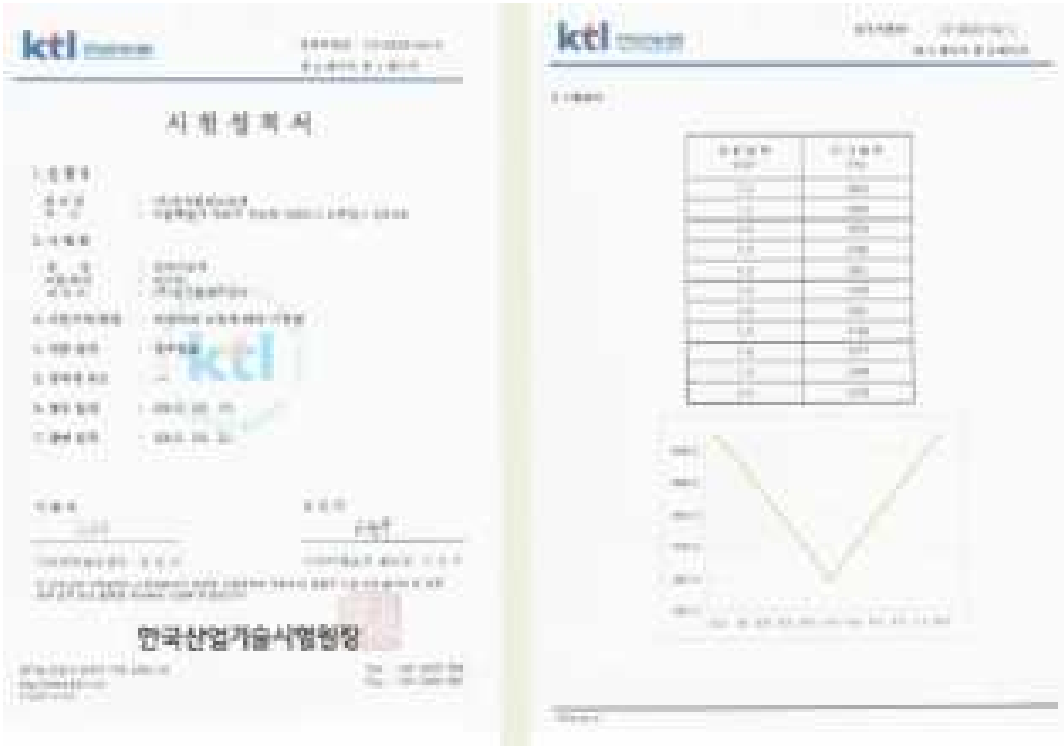
- DAQ operation compared to conventional low power.

- Active, the stand by operating at low power state as compared to foreign products.
- CR10X has lower power consumption represents a higher power consumption than DT8 Sleep state
- Solution is in package price includes two VW and M2M I/F, S/W Solution .

	u-GISN	DT8 Battery Power	CR10X
Active	275mW	1200mW	552mW
Standby	50mW	300mW	156mW
Sleep	< 10mW	2mW	15.6mW
Solution Cost	$4,400	$8,000	$13,500

<Figure 15> compared with foreign advanced technology products

○ u-GISN performance certification
- Performance verification performed by qualified steam engine
- Performance and implement the same commercial product
- Pore water pressure system, complete verification inclinometer



<Figure 16> Perform accredited by performance verification agencies

Ⅲ. Performance and Result of The Research Development

1. Performance of The Research Development

1) Development goals

○ Ground fixed type sensor technology to monitor and commercialization

- Development of the new u-GISN underground environment information based on the national environmental information service by real-time detection of the underground soil.
- Achieve u-GISN by sensor node package, Gateway, underground monitoring S/W, to match the plant facilities in soft ground in the interpretation S/W development and to build a plant Test-bed facilities in soft ground it to validate and technology commercialization

2) Research Objectives and Content

Annual	Objectives	Contents
1st year	▪ Monitoring techniques applied to a fixed ground field evaluation	▪ Existing community-based facilities, instrumentation technology analysis ▪ Terrestrial fixed site monitoring techniques applied gender analysis
	▪ Using wireless communication standard can be applied to environmental data loggers plant development / production	▪ ISA100 communication protocol applied prototype ▪ Prototype design of explosion-proof material that can be applied to the plant environment
	▪ Geo sensor technology and interface verification applied to plant ground facilities	▪ Apply appropriate soil information collected Geo Sensor Technology ▪ Interface verification for various Applications
2nd year	▪ Construction Plant Soil test-bed long-term analysis and Behavior	▪ Construction site plant soil test bed ▪ Reliability analysis by comparing the performance of existing measurement systems and measurement results
	▪ prototype using the u-GISN Technology	▪ The development of wireless data logger performance supplement ▪ Prototyping of explosion-proof material suitable for plant environment and performance verification
3rd year	▪ Operating system solutions can be obtained from the plant environment	▪ Construction risk assessment system of the upper structure of the plant facilities ▪ Ensure the plant can operate in environments through intelligent system solutions for the plant facility safety framework integrates essential technologies Packaging
	▪ Utilization of long-distance communication in accordance with the plant environment and gateway development	▪ Leveraging technology for long-distance communication in accordance with the plant environment ▪ Development Gateway Foundation suitable for u-GISN installation
	▪ Plant evaluation technology research and development facilities	▪ Construction Plant Facility Condition Assessment System ▪ Applicable to future plant facilities condition assessment techniques presented

2. Result of The Research Development

(1) Development of ISA100 communication protocol applied prototype

○ Development of a data logger that can be applied to the plant environment, the wireless communication standard

○ With the data from the configuration is almost the main communication unit for wireless communication, ADC (24bit) unit for chip control, and converting analog signals to digital signals of the sensor unit CPU, for sending and receiving data, RTC unit for time synchronization, the sensor configuration, and an external storage memory unit for storing the DATA, the power supply



<Prototype data logger>

- Prototype Specifications

항목	내용
Measuring channel	1-channel
Measuring range	±5V
Current consumption	150mA ~ 190mA
Power supply	9 ~ 12V
ADC resolution	고속 ADC 24bit (50Khz)
Sampling rate	100, 200, 128, 256, 512, 1024Hz
Low Pass Filter	100, 500, 1KHz, 2KHz
Communication	ISA100
Interface	TCP/IP, UDP, USB
SD CARD	Micro SD(FAT 32 지원)
RTC	정밀 RTC 내장(3ppm ~ 8ppm)
Size(mm)	130*125*38
Operation Temperature	-30℃ ~ 80℃

(2) Prototype design of explosion-proof material suitable for the plant environment

○ Shall meet the minimum regulatory explosion to install the gas, petrochemical, nuclear structures. To the previous case mold design and production to meet explosion-proof certification in the second year, we conducted a mock-up sample production design.

○ Production was completed in consultation with the explosion-proof certification requirements to obtain through consultation with Korea Gas Safety Corporation of plant safety oversight agency facilities.



<Sample Mock-proof case>

(3) Monitoring techniques applied to a fixed ground field evaluation

- Performed after installation of the data logger hypotheses plant performance test on the plant floor environment, the wireless communication
  : Yeosu National Industrial Complex Pipe Rack and Box Butte Local Section
  : Leveraging a commercial site power supply
  : Demo kit produced for field testing, and simulation data logging system for the plant environment and utilize
- Demo kit produced for field testing, and simulation data logging system for the plant environment and utilize
  : Static data and dynamic data acquisition test
  : Dynamic data is normally acquired 512 data per second
- Variety of measurement sensors and linked structures, and data acquisition test
  : Apply sensor inclinometer, thermometer, water gauges, accelerometers, strain gauge, anemometer

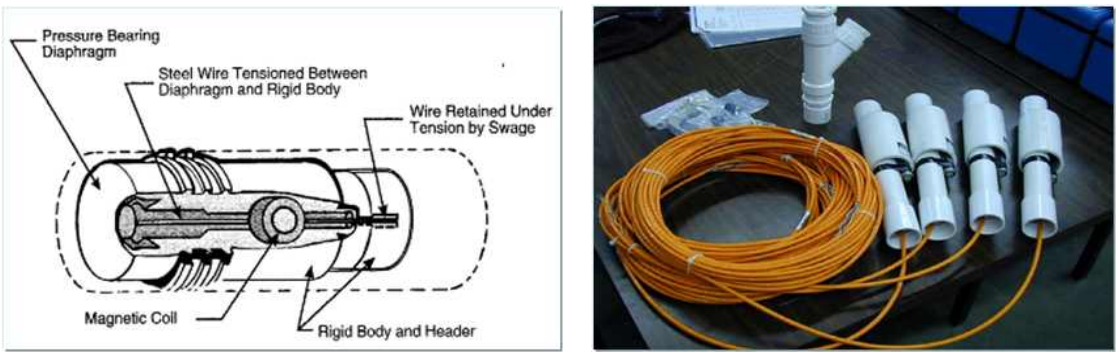


<Added test-bed built in Yeosu>

(4) Apply appropriate soil information collected Geo Sensor Technology

○ Vibrating Wire Sensor

VW Piezometer pore pressure value is calculated as the frequency of the AC voltage and the tension that occurs when changing the natural frequency of the vibrating wire is connected to the diaphragm to vibrate, and this time the current in the electromagnetic coil when the soil pore water pressure acting on the plate is measured

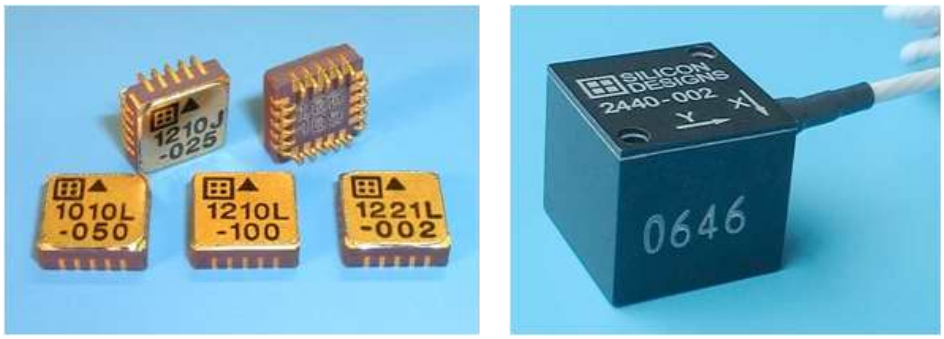


<Vibrating Wire Sensor>

○ Low Noise Analog Accelerometer

The minute vibration can be utilized for precision measurements as a MEMs types with each of the input range of 2g Full Scale X axis and Y axis to the second

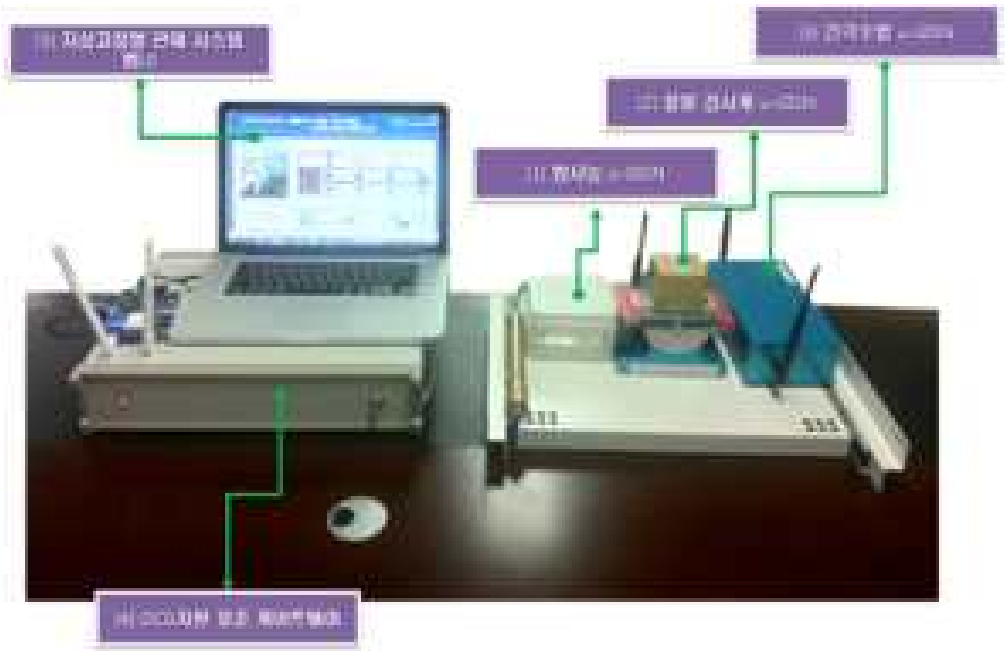
speed based sensor anthem. Acceleration inside having a structure that contains the data and the temperature sensor is at the same time



<Low Noise Analog Accelerometer>

(5) Interface verification for various Applications

- Performing verification interface to the various sensors that may be used in the plant facilities, soil, and measuring



<Test system for verifying interface>

(6) Construction Plant oil test-bed long-term analysis and Behavior

○ Construction site plant oil test bed

1) Yeosu Industrial Complex to build a test bed

-> Not wired measurement system, including the introduction of additional cabling and installation site agree to build a test bed test plan from the

existing chemical complex in Yeosu (South Korea plant information management research), but the wireless measuring system performance verification TSFs.



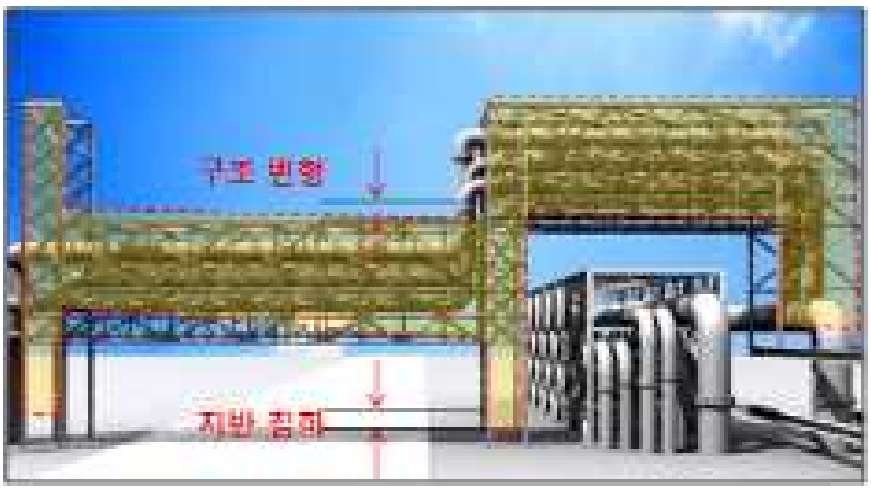
<Yeosu National Industrial Complex Bed and plant facilities on-site testing>

2) Similar experiments in plant oil-site for performance and reliability analysis of the u-GISN

-> Not easy to analyze the reliability of wired / wireless measurement system in Yeosu chemical complex, a similar facility wired / wireless conducting a reliability analysis by introducing a measurement system to bridge temporary event structures and surface site

○ Similar field tests for performance and reliability analysis of the u-GISN

· To monitor the plant's oil to assess the state of the plant according to the deformation of the ground subsidence and the resulting structure will major items



<플랜트지반의 대표적인 모니터링 항목>

· However, in other similar scene to simulate each monitoring item is not easy, and additional cable installation according to the wired measurement systems installed in building a test bed of Yeosu chemical test site only, as mentioned above, u-GISN and wired measurement system hayeoteum analyze the performance and reliability of the u-GISN installed to.

(7) prototype using the u-GISN Technology

▪ Designed to the explosion proof and regulatory provisions EX d ⅡC T5 IP68

⇒ Korea Gas Safety Corporation in consultation with the Ex-approved unit TSFs (1st year)

⇒ And designed, to meet the explosion proof rules (EX d ⅡC T5 IP68) explosion-proof certified by Korea Gas Safety Corporation must apply for explosion-proof certification unit



<Korea Gas Safety Corporation Ex-approved Notice of Results>

▪ Proven performance built modification / fabrication to fit the flameproof case

been developed in the first year of data logger circuit

⇒ And explosion-proof design to fit the data logger data logger circuit boards developed in the first year of manufacture performing

⇒ Configured sensor interface board was power board, main board, LCD board, a battery pack, the flameproof board data logger circuit board



<방폭 데이터로거 회로 보드제작>



<방폭 데이터로거 회로 보드제작>

▪ Internal parts section measurement capability and wireless communication capabilities into molds

⇒ Circuit board design, enhanced by the quality of the products manufactured parts by 3D rendering image based on the internal and external mold design and mechanical design, circuit board, durable mechanism, mold design based on complete production.



< 3D image of each part >



<Explosion data loggers tooling>



<Explosion Data Logger mechanism produced>

(8) Construction risk assessment system of the upper structure of the plant facilities

⇒ Yeosu National Industrial Complex should build measurement systems for risk assessment in section 10-2 of the superstructure.

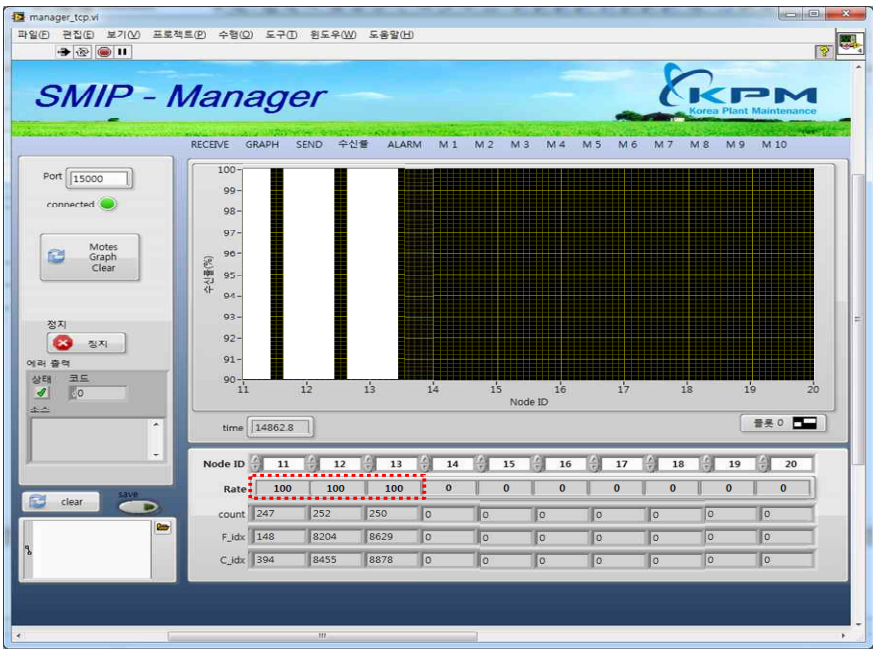




< Yeosu Industrial Complex building superstructure section 10-2 risk assessment system>

⇒ Yeosu National Industrial Complex install additional explosion-proof wireless data logger to 10-2 interval within the upper structure and make performance measurement and communication performance

⇒ Instrumentation and communication performance of wireless data loggers installed in explosion-proof superstructure visible results confirm the reception of 100% without missing data values.



< Explosion-proof wireless data logger communication reception confirmation >

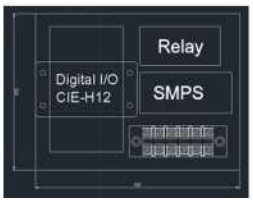
(9) Development Gateway Foundation suitable for u-GISN installation

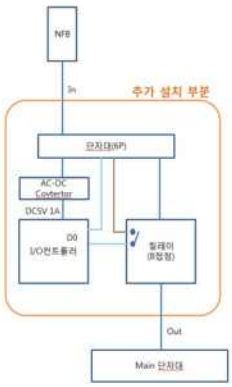
⇒ Using the LTE broadband communication technology remote computer control

Specification

- Input 2ch
  : Wet Input 1ch
  : Dry Input 1ch
- Output 1ch
  : 릴레이 Output(220V5A)
- Interface
  : TCP,UDP,HTTP 지원
  : Server / Client 지원
- 사이즈 120*110mm
- AC220V
- Operation Temperature
  : -20℃~ +80℃

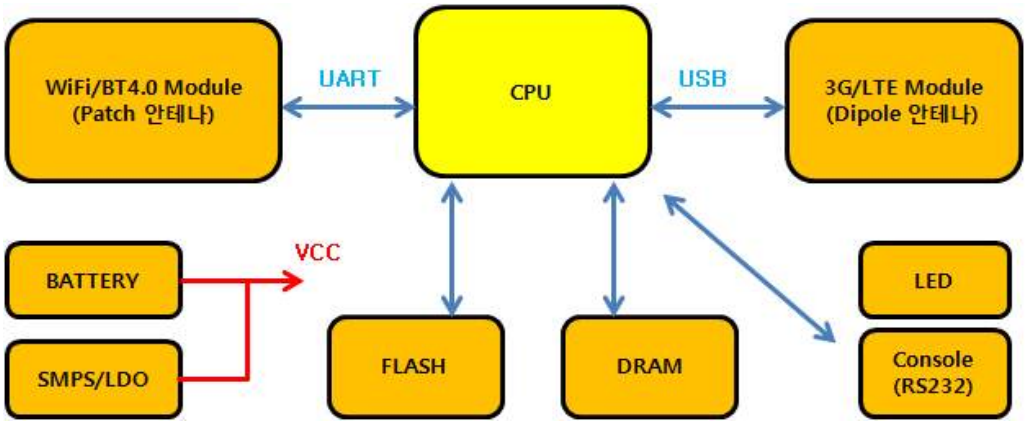






< Development Gateway can control the remote computer >

⇒ It is designed to accept input of the ground environment, the sensor gateway, a structure for mounting the module to the communication module and the external remote terminal and for communicating with the sensor system specification is a communication module interworking with smooth driving of the system and designed to establish a seamless operating environment without delay to adopt for the CPU and RAM up 1GByte Cortex



< 게이트웨이 블록다이어그램 >

- Main processor: ARM Cortex family of Use
- Operating system: Embedded Linux
- Memory: 256MB ~ 1GB management
- Wired Network Interface: 10/100 00BASE-T RJ45 -1 socket

Wireless Network Interface: WiFi, LTE communication modules support

- GPIO interfaces for supporting various sensors linked

(10) Construction Plant Facility Condition Assessment System

⇒ This study has the following features developed in plant facilities condition evaluation system.

- store in a database and files for the measurement result measured in the u-GISN
- Provide data requested by the client in the management database, and the measurement
- Expression analysis of the stored data and the analysis / assessment

U-GISN state evaluation system for storing conversion (Analog-to-Digital Convert) to an analog signal to a digital signal that is output from the sensor, as shown below, to read the measured signal subjected to the post-processing after stored in the database, and are separated by a server program, for the ability to provide real-time measurement signal and the measurement condition evaluation expressing the stored data and perform statistical analysis, such as correlation analysis program. Was developed by Delphi language developed in this research program is a server program and the condition evaluation, was used MySQL databases.



<Plant Facility Condition Assessment System>

Ⅳ. Final Research Performance and Application Results

1. Final Research Performance Result

Performance goals	Measurements	Target	Achieve value	Achievement
Paper	Paper presented at the conference number	2ea	2ea	100%
Intellectual Property	Software registration number	1ea	1ea	100%
Quality certification	Accredited certifier Quality Assurance	1ea	1ea	100%
Technology to achieve performance goals	Accredited certifier test report	2ea	3ea	150%
Commercialization	Number of Prototype Released	1ea	1ea	100%
Intellectual Property	Patent applications	1ea	1ea	100%
Construction and Application of the test bed	The number of test-bed results	1ea	1ea	100%

2. Final Research Application Result

○ GS Caltex Oil built Pier collision monitoring system

GS Engineering & Construction

Gran Seoul, 33, Jong-ro, Jongno-gu, Seoul, 110-130, Korea

REQUISITION

(FACING SHEET)

REQ. NO. 140100-RQ-J-101
SHEET 1 OF 1
DATE Apr. 15, 2014
GSENC JOB NO. 140100
COST CODE

PROJECT: No.2 Crude Wharf Recovery Project

PREPARED BY K.M.Kang
CHECKED BY D.J.Lee
REVIEWED
APPROVED: D.Y.Kim

DISTRIBUTION
(DISTRIBUTE THIS COPY TO LOCATION CHECKED)

ORDER FOLLOWING SHIPPED TO :
GS Caltex, Yeosu, Korea

MATERIAL DESCRIPTION:
부두충돌 MONITORING SYSTEM

PLEASE PURCHASE OR DEVELOP QUOTES FOR MATERIAL LISTED

LATEST ACCEPTABLE DELIVERY DATE IN FIELD:

GSENC H/O
ON THE FOLLOWING PAGES 1 THROUGH 4

<Request to build a pier collision monitoring system>

3. Market Prospect of The Research Results

◦ This domestic RFID / at about 940 billion won in 2008 the market is the market in the USN when estimating the industry survey results reflects the Korea Association of RFID / USN based on the world market growth in 2018 25,470,000,000,000 degree to view

° RFID / USN devices in case of a market expected at about 680 billion won in 2008 to form the scale of the market 6.04 trillion won about 2018

° RFID / forecast to reach about 19.43 trillion won in 2018 at around 260 billion won in 2008 case size (including software) in USN service markets are

° Level of 9.2% is expected in 2008 to 20% in 2018 to occupy the world market share of the domestic RFID / USN is, GDP share of RFID / USN also expected to be around 0.92% in 2018 from the 2008 level of 0.09%

° If the domestic market is expected to increase over 30% in sales every year since 2006, the electronic instrument market. Medals USN technology every year, while more than two times the explosive growth expected

◦ Technology demand

Demand	Country	Demand	Related Products
GS Caltex	Republic of Korea	1,000 set	- Industrial equipment automatic control and management system - Subsidence, erosion and crack pipe diagnostic system
SK Energy	Republic of Korea	1,000 set	
Arkema Inc.	United States	5,000 set	
Shell	Multinational	100,000 set	

Ⅴ. Achievement and Effectiveness of The Research Objective

1. Achievement of The Research Objective

Research objectives	Achievement(%)	Major Research
▪ Monitoring techniques applied to a fixed ground field evaluation	100	▪ Existing community-based facilities, instrumentation technology analysis ▪ Terrestrial fixed site monitoring techniques applied gender analysis
▪ Using wireless communication standard can be applied to environmental data loggers plant development / production	100	▪ ISA100 communication protocol applied prototype ▪ Prototype design of explosion-proof material that can be applied to the plant environment
▪ Geo sensor technology and interface verification applied to plant ground facilities	100	▪ Construction Plant Facility Condition Assessment System ▪ applicable to future plant facilities condition assessment techniques presented
▪ Construction Plant Soil test-bed long-term analysis and Behavior	100	▪ Construction site plant soil test bed ▪ Reliability analysis by comparing the performance of existing measurement systems and measurement results
▪ prototype using the u-GISN Technology	100	▪ The development of wireless data logger performance supplement ▪ Prototyping of explosion-proof material suitable for plant environment and performance verification
▪ Plant evaluation technology research and development facilities	100	▪ Construction risk assessment system of the upper structure of the plant facilities ▪ Ensure the plant can operate in environments through intelligent system solutions for the plant facility safety framework integrates essential technologies Packaging
▪ Operating system solutions can be obtained from the plant environment	100	▪ Using the u-GISN technology development phase supplies ▪ Operating system solutions can be built in a plant environment
▪ Utilization of long-distance communication in accordance with the plant environment and gateway development	100	▪ Leveraging technology for long-distance communication in accordance with the plant environment ▪ Development Gateway Foundation suitable for u-GISN installation

2. Effectiveness of The Research Objective

◦ Can see the degree of commercialization of automated data acquisition by terrestrial wireless communications soft ground areas USN technology level is applied, that the step applied to test underground wireless communication technology. If the construction site of the Busan New Port is being tested operating Internet-based integration and data management systems that are analyzed in this office received a commercial CDMA wireless network to automatically acquire some information and management. In the field of soft soil ground / underground wireless data acquisition and processing is fully automatic, will be created in the public state through which demand continuous monitoring of the construction of the existing addition to measuring management and ultimately the development direction of the USN. When applied to the maintenance measures the ground wireless communication technology has the following advantages.

- Consists of independent components, without cable, available from construction to maintenance, continuous measurement and instrumentation installation time is also shortened the public and Medals.
- It is not necessary in the management of geotechnical and underground structures to connect the sensor cable to the ground does not affect the use and construction of public facilities and ground structures.
- Can be avoided problems such as malfunction of the measurement unit and the measurement caused by the reduced risk of cable breakage of the structure and function damage, the sensor cable is arranged.
- Recovery of data is stored in the observation unit is installed underground to very easily load.

◦ And maintenance of the measurement instrumentation required for this construction because it contains a lot of uncertainty in the design and construction of the tunnel structure. Indicators that include acupuncture Summer, Summer Heaven spit, pitting displacement meter, ground displacement gauge, gauge stress shotcrete, rock bolt axial system of the construction of the tunnel measurements are. In addition, there is a system such as earth pressure, pore water pressure systems, strain gauge measurements is maintained by the tunnel. Were able to distinguish between a manual measurement and wired auto measuring tunnel

measurements, it is difficult to maintain plenty of measurement due to the instability of the data cable and breakage due to the occurrence of noise due to the measurement error and the cable section of the dialog by a user. On the contrary, a notebook PC users Refine this store multiplexer connected sensors and USN systems are moving from each other, and automatically receive data wirelessly received data. Measurement data is transmitted to the server PC from a laptop PC data automatically saved, so you can try searching Refine User (USER) is related to the transmitted data is normal. Can at the same time to overcome the problem of the reliability of the data by the noise generated due to a conversation of the cable section of the measurement caused by the breakage of the cable termination or cable, eliminating the need for a pole to the data logger such data logging method. So may be the most appropriate in civil construction site automated measurement system based on a new concept of ubiquitous data acquisition system for USN.

◦ If the field of slope stability in addition to underground inclinometer, pore pressure based, hierarchical general common groundwater instrumentation USN is possible to apply a comprehensive index to measure the displacement measurement and three-dimensional pictures or three-dimensional laser scanning instrumentation. However, as noted earlier, the slope of USN technology will have to be resolved for the durability of the USN equipment for the supply problem, the problem of the transmission distance and the long-term behavior of the measurement problems due to limited positions of power when applied to the measurement field.

◦ In order to implement USN excavation site in downtown museonhwa various instruments before - should be automated. However, the following requirements must be met for the civil field, so outdoor scene caused various problems.

- Must be good and durable to withstand harsh weather and installation conditions.
- Should be wide temperature measurement range.
- Should be repellent, moisture is.
- Must have appropriate considering the number and frequency of sensor data acquisition frequency.
- Should be able to use a variety of communication means.
- Various methods of power supply should be.
- Should be able to be controlled by an automatic measuring instrument program.

- Should be able to select the set boundary value or the measured time by a program.
- Must be easy to link with the program.

◦ In ready for the use of the USN currently implemented in the integrated management of landfill management and Geothermal system in the field of oil environment. The integrated management system detects landfill leachate leakage of geo-grid installed pH sensor, temperature sensor, soil moisture sensor network forms a grid constructed around the landfill to landfill floor to the ground system to apply to the data logger via a wired data can be implemented in a real-time remote management technology by combining the USN after transfer. Geothermal system in identifying the energy supply efficiency by installing a geothermal temperature sensor inside the medium shear transfer tube and the USN technologies by combining them identify where energy efficiency is less able to receive real-time information to the remote administrator and the system can be managed using the other direction while the recovery time for the system. Can take advantage of the USN in the apartment and Industrial Park Environmental Management System, install the sensor on the large site in the contaminated areas and if we expect the USN technology combines Medals will be able to effectively manage an apartment, a large area of the plant site is determined .

Ⅵ. Application of The Research Result and Need of Future Research Development

1. Application Method of The Research Result

◦ Imported from abroad, but using the data logger to meet the domestic demand of explosion-proof standard GS Caltex, SK Energy, LG Chemical, Korea Gas Corporation, Samchully etc. is the price that you are using the most expensive cable products. Therefore, if you apply through this challenge developed explosion-proof wireless data logger can solve the problem of foreign products than can be provided at low cost and with wired communication occurs and can be solved by a highly reliable and secure wireless communication standards ISA100.11a.

◦ Commercialization plans and strategies

Division	Specific information
Type / Size	o Commercialized forms: building and operating the system through the production / distributor secured directly o Demand: - Petrochemical and Gas Plants manufacturers: LG Chem, GS Caltex, Hanwha Chemical, Korea Gas Corporation, etc. -Industrial Complex
Commercialization capabilities and reserved resources	o Commercialization of the Company and the Company representative capacity - Existing plant facilities, establish performance monitoring retention - Similar in structure monitoring system, such as task performance reserve o Typical Commercialization Success - IoT-based wireless data logger: OmniCube - IoT-based explosion proof wireless data logger: OmniCube-Ex - IoT-based heterogeneous communication gateway support: OmniHub o ensure the production base and productivity - Circuit design and mechanism itself / outsourcing - Assembly and performance tests conducted in our own - Production facilities for assembling and securing the performance test (manufacturing Register) - Will ensure a separate plant in accordance with the business expansion,
Commercialization plan and schedule	o Verify performance with field-proven build 3rd year development test bed, and the operating system, o Task 3 car supply plan in the market from the year 2014 o Development of two years from termination plan to enter foreign markets Year 2016 o as well as advanced propulsion plant to be linked to a variety of industries

2. Need of Future Research Development

○ The necessary technology that can be utilized in a variety of geotechnical engineering USN technology, is expected to be able to create a land market monitoring system of value added and through the fusion of technology and Geotechnical Engineering, USN, the following are prerequisites for this should be.

○ Adjust the various requirements of the geotechnical engineering field reflects selectively. Desired in the geotechnical field USN sensor is ideal for building a separate information must be installed 1) of the various measurement sensors and operation, including 2) to ground the wireless network, and can share with each other, and 3) a sufficient battery capacity, or the available 4) permanently, while maintaining a high frequency data acquisition system equipped in the automatic charge system, and a sufficient storage capacity.

○ also being required, such as to enable real-time analysis that did not have a long processing time, such as a standardized, integrated data logger, which can manage the various types of sensor signals, or the three-dimensional image processing of the SAR data in the operating system, a high-performance processor .

○ However, there is no satisfying all engineering solutions. For example, the sensor package can not but increase in size to increase the battery capacity to increase the frequency of data collection for use as permanent. This may cause a big problem in the convenience of the installation side. Solar charging system also can not but be limited depending on the sensor type used at this time is limited to be not only also be introduced into the automatic charging machine.

○ So catch the first time to raise the frequency of data collection systems should be built with the technical trade off accordingly. That is, the operation must be preceded by adjusting the different requirements in view of the current and future technical limits, may be established through this USN development strategy. In addition, real-time measurement and analysis, as well as the need to create a system for solving problems in real time.

○ And go beyond simply measuring the museonhwa of equipment, ○ USN technology are futuristic therefore machine - it is urgent introduction of mechatronics technology combines robotics. Need to be tried by challenging research for active control of the various sensors are transmitted in addition to the simple measurement data. We believe it is imperative that the USN technology research to overcome the disadvantage of the ground inside the radio.

CONTENTS

Chapter 1 Outline of The Research Development Project ····· 1

Phase 1 Need of The Research Development ····· 1

Phase 2 Objective of The Research Development ····· 3

Phase 3 Foundation Technique of The Research Development ····· 14

Phase 4 Technology of The Research Development ····· 17

Chapter 2 Performance and Result of The Research Development ····· 21

Phase 1 Performance of The Research Development ····· 21

Phase 2 Result of The Research Development ····· 25

Chapter 3 Final Research Performance and Application Results ····· 180

Phase 1 Final Research Performance Result ····· 180

Phase 2 Final Research Application Result ····· 193

Phase 3 Market Prospect of The Research Results ····· 194

Chapter 4 Achievement and Effectiveness of The Research Objective ··· 199

Phase 1 Achievement of The Research Objective ····· 199

Phase 2 Effectiveness of The Research Objective ····· 201

Chapter 5 Application of The Research Result and Need of Future Research Development ····· 206

Phase 1 Application Method of The Research Result ····· 206

Phase 2 Need of Future Research Development ····· 213

Chapter 6 Reference ····· 221

Appendix. Quantitative Research Results

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1
제1절 연구개발의 필요성 ····· 1
제2절 연구개발의 목적 ····· 3
제3절 연구개발의 범위 ····· 4
제4절 연구개발의 기술성 ····· 17

제2장 연구개발과제 수행 내용 및 결과 ····· 21
제1절 연구개발의 수행 내용 ····· 21
제2절 연구개발의 결과 ····· 25

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 180
제1절 최종 연구성과 내용 ····· 180
제2절 연구성과 적용실적 ····· 193
제3절 연구성과 시장 전망 ····· 194

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 199
제1절 최종목표 달성도 ····· 199
제2절 연구개발 효과분석 ····· 201

제5장 연구성과 활용 및 향후 진행방향 ····· 206
제1절 연구성과 활용방안 ····· 206
제2절 향후 연구개발 진행방향 ····· 213

제6장 참고문헌 ····· 221

부록. 정량적 연구 성과물

제 1 장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 필요성

○ 원자력 발전소, 해수담수화, 석유화학, LNG 등 플랜트 산업은 고부가가치를 창출하는 중요한 국가기반 산업으로 그 범위는 점점 확대되고 있음. 2009년에 지식경제부의 발표에 의하면 <그림 1>과 같이 2006년 세계 플랜트 시장 규모는 약 7000억불로 다른 산업에 비해 그 비중이 매우 높음. 이와 더불어 국내 플랜트 산업도 해외수주가 급증하며 <그림 2>와 같이 2007년 타 산업에 비해 차지하는 비중이 높아졌음.



<그림 73> '06년 주요 산업 세계시장규모



<그림 74> '07년 국내 주요 산업 실적 비교

○ 플랜트 산업의 증대와 함께 플랜트 시설물의 건설력, 공정기술, 공정•제어의 모니터링 등 플랜트 산업 관련된 기술력 역시 크게 발전하였음. 하지만 국가 기반 시설물인 플랜트 시설물은 산업 사회의 가장 보편적이고 중요한 시설물인데 비해 플랜트 시설물 자체에 대한 유지관리 및 모니터링 측면에서 기술은 부족한 실정임.

○ 국내의 경우 국토의 70% 이상이 산지로 이뤄져 있으며, 인구 밀집도가 높아 대규모 시설물인 플랜트 시설물은 대부분 바다를 매립한 매립지에 위치하고 있음. 매립지의 경우 흙이나 모래, 돌 등으로 성토를 한 곳으로 지반이 매우 연약함. 이러한 연약지반에 대규모 시설물인 플랜트 시설물이 건설 될 경우 지반 침하가 우려 됨. 그러므로 플랜트 시설물 주변 지반에 대한 감시 및 관리가 필요함.

○ 지반 지능화 관리 기술은 시장성, 경제성, 국가 정책 측면에서 능동적 관리를 통한 효율성 증대, 안전, 사고예방 등의 목표를 달성을 위한 기반 기술이며 시설물의 국가의 주요 자원의 효율화를 위해서도 플랜트 시설물 주변 지반의 지능화 관리 기술의 개발이 시급히 요구되고 있음.

○ 국토해양부 지상고정센서형 모니터링 기술개발 과제를 통하여 지반 u-GISN(Ground

Information sensor Network) 패키지 기술을 개발. 지중정보통합 시스템 기술은 사면의 지능화를 위하여 사면의 환경적 특성을 고려한 센서, 통신, 플랫폼 기술을 적용하였으며 테스트 베드로 선정된 세종시 테스트 베드의 사면을 활용하여 시스템의 성능 검증을 수행함.

○ <그림 3>과 같이 국토해양부 연구개발 사업을 통하여 개발된 u-GISN(Ground Information sensor Network) 패키지 기술은 사면의 설치 환경적 특성을 고려하여 완성된 기술로써 연약지반의 실시간 변위를 예측하기 위한 센서와 사면에 적합한 무선 통신 및 설치 적용기술을 성공적으로 개발함.



<그림 75> 기 개발된 기술내용

○ 지반 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 패키지 기술의 성공적인 사업화와 기술 확산을 위해서는 개발된 기술을 타 분야의 적용을 통해 연약지반에 대한 연구가 필요함. 매립지와 같은 연약지반인 경우 복합 지반/지중으로 지반 특성의 파악하기 위한 지반조사 및 설계 정보가 필요하며, 사면의 센서 설치를 위한 제약 조건이 많으며 통신 환경 측면에서도 열악하여 지반 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 패키지 기술의 적용을 위해서는 추가적인 개발이 필요함.

제2절 연구개발의 목적

○ 국가 주요 지반의 지중환경 정보를 실시간 탐지하여 새로운 u-지중환경 정보 기반 서비스인 u-GISN을 개발

○ u-GISN을 이루는 u-GISN 센서노드 패키지, 게이트웨이, 지중모니터링 S/W, 해석 S/W를 플랜트 시설물 내 연약지반에 맞도록 개발하고 플랜트 시설물 내 연약지반에 Testbed를 구축하여 이를 검증 및 기술 사업화



<그림 5> 연구개발의 목표

제3절 연구개발의 기반기술

본 연구에서 개발하고자하는 개발품은 국토해양부 첨단도시개발사업을 통하여 개발된 지상 고정형 모니터링 기술로써 사회적 자원 낭비와 안전에 심각한 영향을 미치는 지반의 지능화를 위하여 개발 맞춤형 유비쿼터스 융합기술인 u-GISN(Ground Information sensor Network)을 기반으로 하고 있다. u-GISN 기술을 기반으로 플랜트 시설물 내 지반의 환경적 특성과 모니터링 방안 분석을 위해 USN기반 통신 기술, 정확도 높은 저전력 센서 기술, 신뢰성 기반의 플랫폼 기술 등의 기반 기술을 연구하고 현장 적용을 위한 Open Platform 형태의 지반 u-GISN(Ground Information Sensor Network) 패키지 기술의 개발하고자 하였다.

1. 보유 기술

가. 기술개발 연혁

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발주체
연구개발	2007. 11	• 국토해양부 • 사업명 : 첨단도시개발사업 • 과제명 : 지상고정센서형 모니터링 기술개발 • 연구기간 : 2007. 11. 27 ~ 2012. 04. 26	전자부품 연구원

[붙임]지능형국토정보기술혁신사업단

실험검증위원회 실험검증 결과서

□ 실험검증대상 성과물 현황

성과물명	8번 지상고정센서형 모니터링 시스템		
연구기관	한국전자부품연구원	연구책임자	송 병 훈
총 연구기간	2007. 09. 11 ~ 2012. 04. 26 (4 년 7.5 개월)		

최종 실험검증 종합결과(100점 만점)			
1. 성과물 혁신성	2. 성과물 완성도	3. 성과물 실용성	성과물 파급성
81.5	77.0	82.0	79.5

1. 성과물 혁신성

실험검증 항목	실험검증 지표			검증결과 (100점 만점)
1.1 시장성 (85.0)	1.1.1 현재 시장 규모 및 성장률 분석 결과			85.0
	1차	의견	◦ 제시된 시장규모는 본 연구에서 목표로 하는 성과물과 차이가 많음. 특히, 지반분야에 적용되는 센서(또는 센싱, 모니터링)의 규모가 제시되어야 할 것임 ◦ 적합하게 분석되었음	
		조치계획	◦ 해당 시장규모에 대해 기존자료의 해당부분 발췌 및 추가적인 자료를 제시하겠음	
	2차	의견	◦ 추가 자료 제시 확인 ◦ 시장 규모 및 성장률 분석 결과 충분함 ◦ 유사 관련분야의 기술에 대한 시장분석을 실시하였음 - 본 연구에서 대상으로 하는 시설물(또는 구조물)에 대하여 실질적인 발주현황 등에 대한 자료를 토대로 현실성(실제 적용성)을 고려한 시장규모를 파악할 수 있기를 권고함 ◦ 확인함 ◦ 건설 IT 융합 및 관련 소방 핵심기술 동향/시장자료 추가 보완 확인됨	
		조치계획		
	1.1.2 기술/특허 동향 분석 결과			85.0
	1차	의견	◦ 제시된 TTA 보고서는 본 연구 분야를 대표하기에는 무리가 있음. 연구주제에 집중하여 기술, 특허 동향(또는 환경분석) 검토를 통해 시장의 규모와 시장성 예측을 실시해야 할 것으로 판단됨(기존 연구기획보고서 등 참조 가능)	

5. 기타 의견

1차	의견	◦ 해당 센서와 유사한 USN 기반 고정형 센서 기술/사례에 대한 구체적인 조사/분석이 필요함. 이를 통하여 개발 기술의 장/단점에 대한 정량적인 평가가 필요함. ◦ 개발한 기술의 우수성을 증명할 수 있는 관련 특허나 기술 문서/논문 등의 근거 자료가 부족함. ◦ 외부 설치형인 만큼 기술의 내구성을 증명할 수 있도록 다양한 환경에서의 내구성 테스트 및 관련 인증 취득이 필요함. ◦ 본 연구성과에 대해서는 추후 사업단과의 별도 협의를 거쳐 실증적 검증을 재시도함이 타당함 ◦ 6차년도 목표인 실용화/사업화를 위해서는 제품에 대한 신뢰성을 보장하여야 하며, 이를 위해서는 제 3의 시험기관에서 - 네트워크신뢰성시험 - 내구성시험 - 센싱정확도 시험 등을 검증할 수 있는 자료 필요 - 2차 검증시 자료 보완 요청
	조치계획	◦ 기존 USN 기술 및 유사 제품과의 비교를 수행하여 이에 대한 자료를 제시하도록 하겠음. ◦ 지능형사업단과 검증위원님들의 의견을 반영한 추가 시스템 설치 및 시연을 통한 2차 검증을 준비하겠음 ◦ 제시된 테스트 및 인증과 관련한 자료를 보완하겠음.
2차	의견	◦ 기존 제품들과의 성능 비교 평가 및 타 기관의 성능 평가 결과를 제시하여 개발한 기술의 성능 우위를 제시하였음. ◦ 추후 신뢰성, 안정성, 내구성 등에 관한 성능 평가가 계획되어 있으므로 이에 대한 확인이 필요함. ◦ 향후 지속적인 사업화/상용화 시도가 필요함. ◦ 건설분야와의 지속적 교류 및 협력을 권고함 ◦ 전반적인 보완 자료의 제출이 충실하다고 판단됨. ◦ 지자체 또는 소방방재청 등의 재난방재시스템 구축사업에 활용될 수 있다고 예상됨. ◦ 제주도의 경우 섬지역 특성상 해양과 관련된 여러 가지 재난방재시스템 구축 시장이 수년 전부터 형성되고 있으므로 성공적인 기술이전을 통한 기업의 신시장 개척과 매출증대에 기여 할 수 있을 것으로 판단됨 ◦ 1차 검증시 제시되지 못한 부분을 2차 시연을 통해 대부분 확인됨 ◦ 단, 제품에 대한 내구성 등은 현재 전문시험기관에 시험 의뢰중이므로 과제 종료 전에 시험결과 확인 필요
	조치계획	

- 15 -

나. 보유기술 내용

○ u-GISN, 지반정보 수집센서 멀티모듈, 융합 게이트웨이 기술 개발

디지털침하센서, 간극수압센서 등의 u-GISN 센서의 데이터를 전자적으로 마이크로컨트롤러에서 데이터를 가공하여 IEEE 802.15.4, WiFi, GPRS 등의 무선을 통해 센터로 데이터를 전송함으로서 국지적이고 단편적인 현재의 지반 정보 수집에서 광역적, 실시간의 지반 정보 수집



<그림 6> 게이트웨이

○ 지반 정보 수집에 적합한 Geo 센서 적용기술

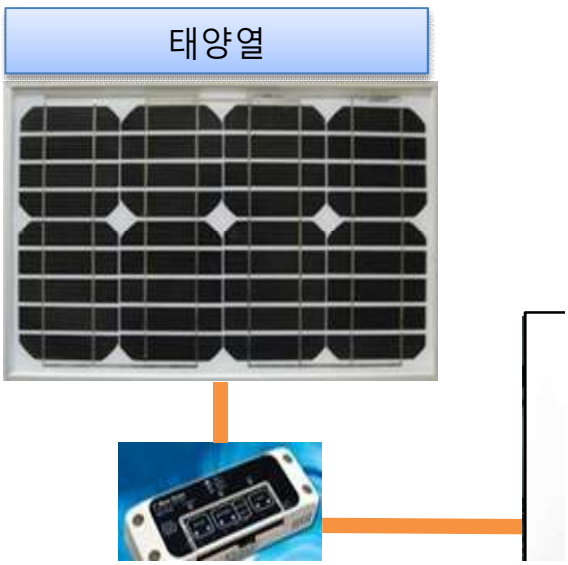
Power AMP USN Mote는 BASE BAND가 2.4~2.4835GHz이며, 250Kbps의 통신 속도를 지원함. 무선센서네트워크에 주로 사용되는 embedded OS인 TinyOS를 탑재하였고 장착되어 있는 Chip ANT는 실내에서 약 10m를 도달하며, 실외에서 약 80m까지 도달한다. Case장착 시 약 10%의 Loss를 보였음.



<그림 7> 멀티 센서 인터페이스를 지원하는 u-GISN

○ u-GISN 에너지 공급 모듈 및 네트워크 시뮬레이터 개발

기존 에너지 모델을 배터리 특성을 적용한 배터리 모델 개념으로 좀 더 세분화 시켜 적용하였으며 기존 실험에서의 단순히 방전 되는 에너지만을 고려한 것이 아니라, 에너지 하베스트 관점을 고려하여 태양열 및 풍력 센서 네트워크 환경에서 자가 충전을 얻을 수 있다는 가정 하에 배터리 충전 모델링을 적용하였음. 그리고 배터리 모델은 전자기기에서 널리 쓰이고 있는 리튬이온, 리튬 폴리머, 알카라인 배터리 모델을 적용하여 실험을 수행하여 신뢰성 있는 에너지 소모 측정함.



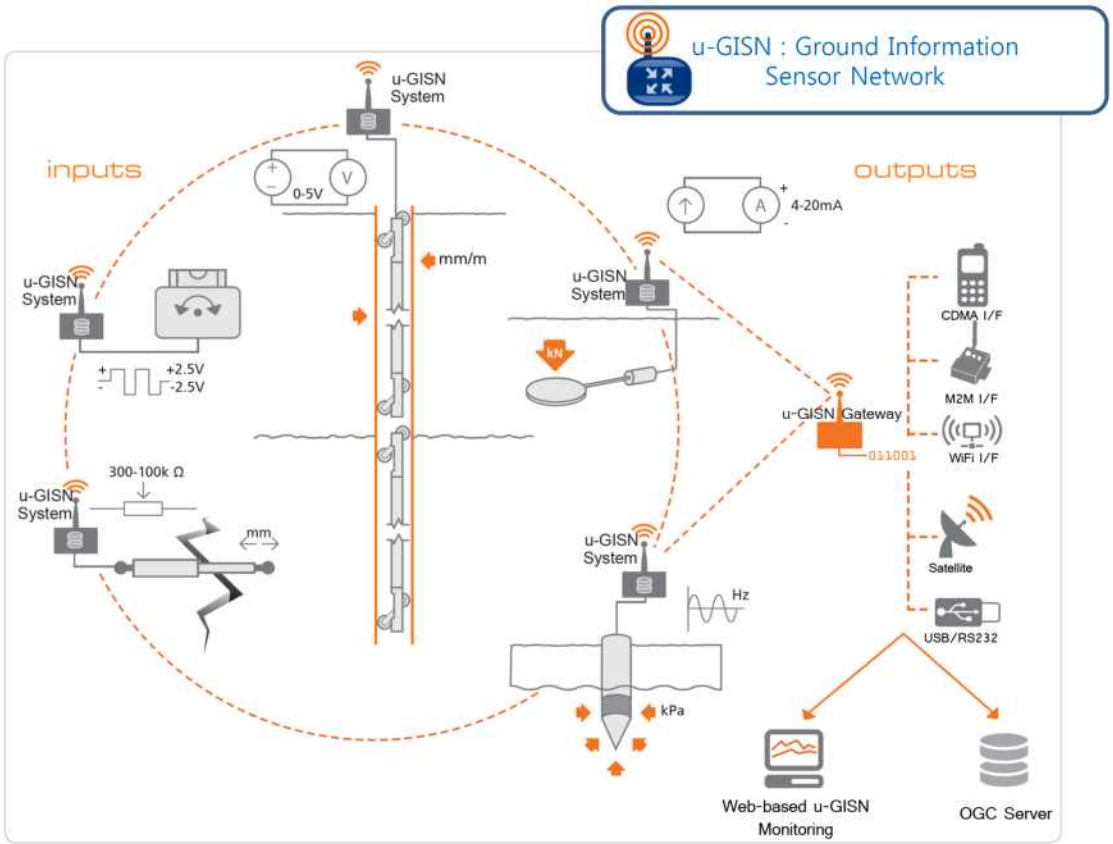
<그림 8> 에너지 공급시스템

○ u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 구현

데이터 전송 관리를 위한 소프트웨어는 크게 두 가지로 구분되어 연구되었음. 첫째는 소프트웨어 구조이며, 둘째는 에너지 절약을 위한 효율적인 프로토콜임.

○ u-GISN 산업용 패키징 기술 개발

데이터 전송 관리를 위한 소프트웨어는 subsystem의 데이터 획득을 위한 작업에만 국한되는 것이 아니라 데이터 프로세싱, subsystem 제어 및 상태 관리를 해야 하기 때문에 계층 간의 역할분담과 그에 따른 하드웨어 플랫폼에 차이가 있는 Tiered 구조가 적합함.



<그림 9> u-GISN의 개념

○ u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 실용화

u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 실용화 측면에서 u-GISN 에서의 계측의 목적, 설치 시기, 위치 등을 표준화하였으며 이를 통해 하드웨어 스펙을 정하였으며 소프트웨어의 구성을 기존 상용제품 분석을 통해 기존 토목 분야에서 사용하는 소프트웨어에서의 운용 인터페이스를 호환되도록 유지하여 플랫폼 데이터 및 전송기술의 실용화를 유지



<그림 10> USN 무선데이터로거

○ 세종시 사면 테스트베드 구축 (지상 고정센서형 모니터링)

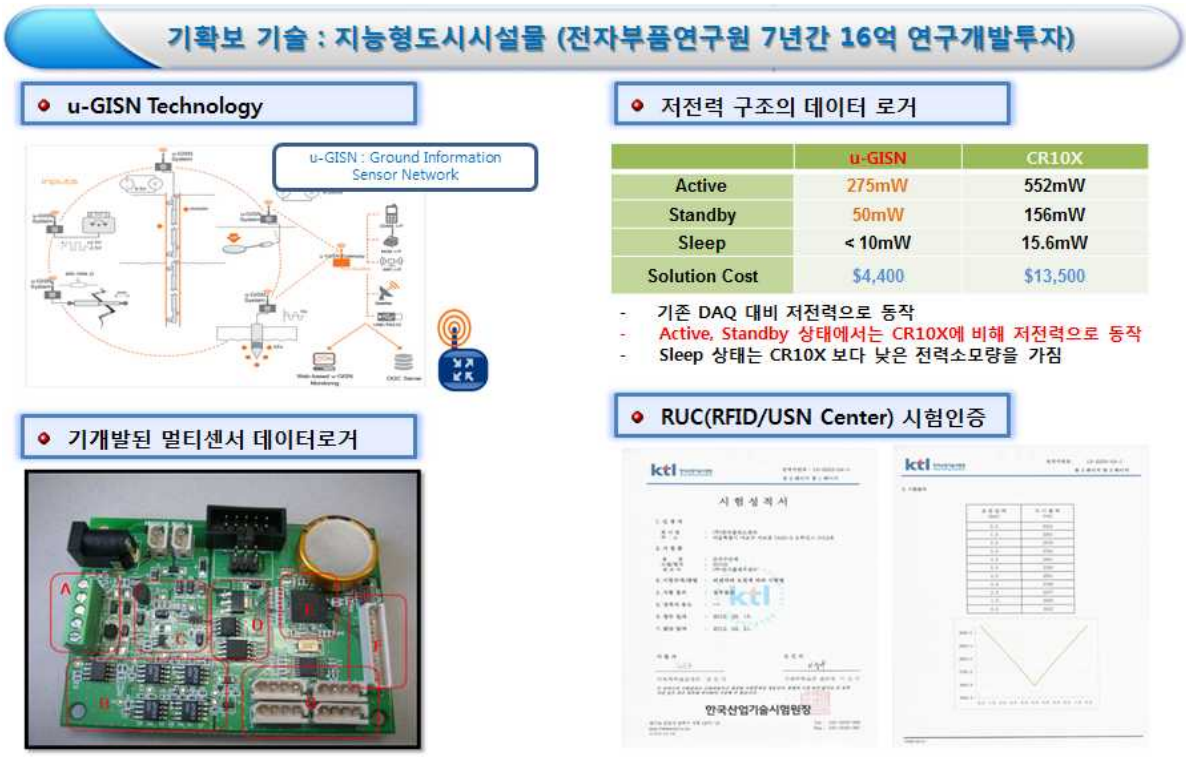
- 개발된 지상 고정센서형 모니터링 기술 테스트 베드 구축
- 세종시 사면을 대상으로 개발 기술 적용



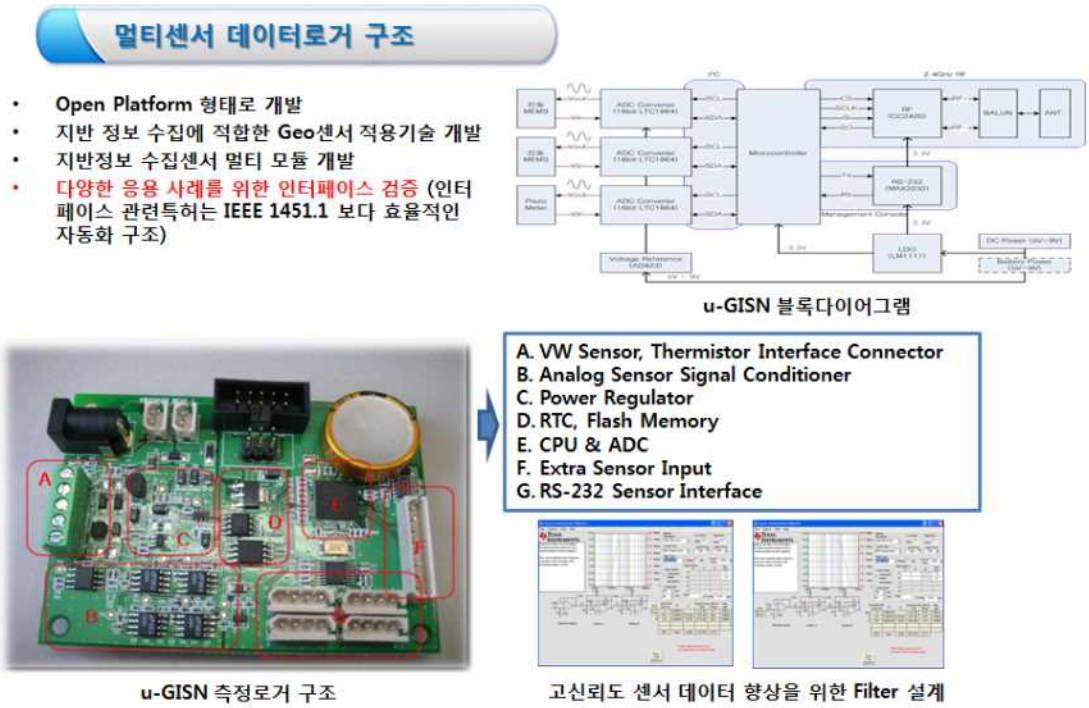
<그림 11> 모니터링 프로그램 및 운영시스템 구성도



<그림 12> 사면 모니터링 시스템 적용 기자재



<그림 13> 연구 개발품 적용 사례 I

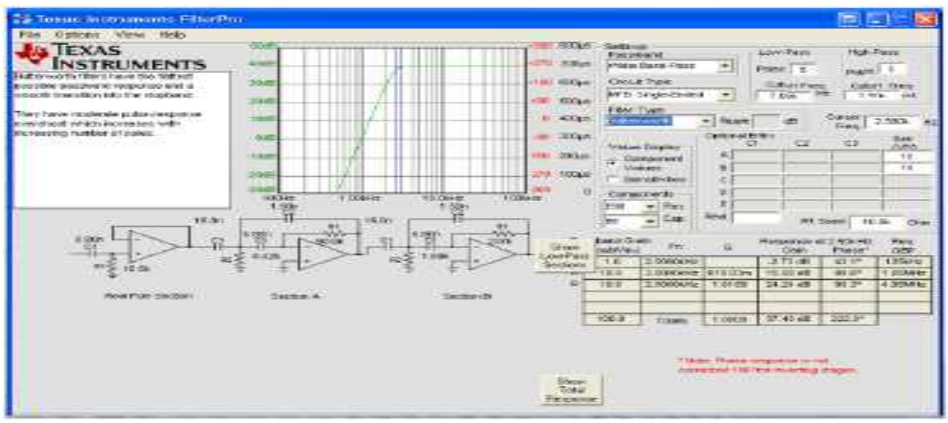


<그림 14> 연구 개발품 적용 사례 II

다. 보유기술의 적용 이론

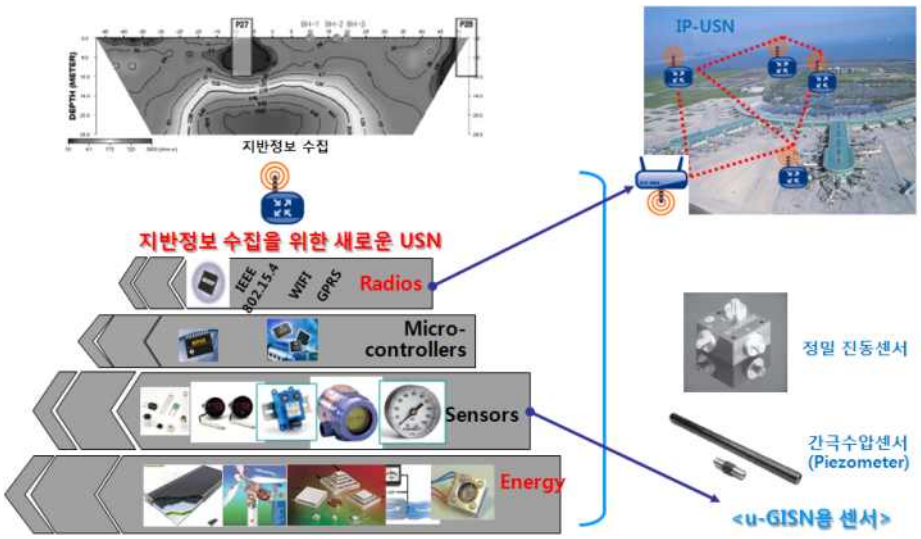
○ 실용화 통합 게이트웨이 검증 및 Geo센서 실용화

통합 게이트웨이 및 Geo 센서의 실용화를 위하여 기존 제품을 분석하였으며 필터를 설계하여 성능 개선 작업을 진행. 필터 대역은 진동현식 센서가 측정하는 주파수인 450 to 6000Hz 의 대역통과 필터여야 함. Band pass filter로 Center frequency 를 3KHz가 적합함. 문제는 Pass band, stop band영역의 설계임. Pass band를 6KHz까지 설계하려면 필터 차수가 16차 이상 되어야 가능함. Pass band를 좁히면 해결이 되나 450~1KHz, 4~6KHz Frequency는 이득이 감소하여 신호가 작게 나오는 문제점이 있음. Stop band의 경우 drive coil의 주파수를 제거하기 위해서는 10KHz이상의 Frequency는 차단해야 하고 감쇄율도 좋아야 신호에 영향을 주지 않음. 1~100Hz의 경우는 파형이 기준 값을 잡지 못하게 하기 때문에 꼭 제거되어야 함.



<그림 15> 센서 데이터 향상을 위한 Filter 설계

○ u-GISN은 지반과 지중 정보 수집을 위한 새로운 USN으로 정밀진동센서, 간극수압센서 등의 u-GISN 센서의 데이터를 전자적으로 마이크로컨트롤러에서 데이터를 가공하여 IEEE 802.15.4, WiFi, GPRS 등의 무선을 통해 센터로 데이터를 전송함으로서 국지적이고 단편적인 현재의 지반 정보 수집에서 광역적, 실시간의 지반 정보 수집을 목표로 함



<그림 16> u-GISN 개발 내용

- u-GISN 플랫폼은 지반정보를 수집할 수 있는 센서를 인터페이스 할 수 있을 뿐만 아니라 다른 센서를 부착하여 사용할 수 있는 용도를 병행할 수 있도록 디자인되어 있는 2.4GHz 기반의 RF 모듈을 포함하는 구조를 가짐

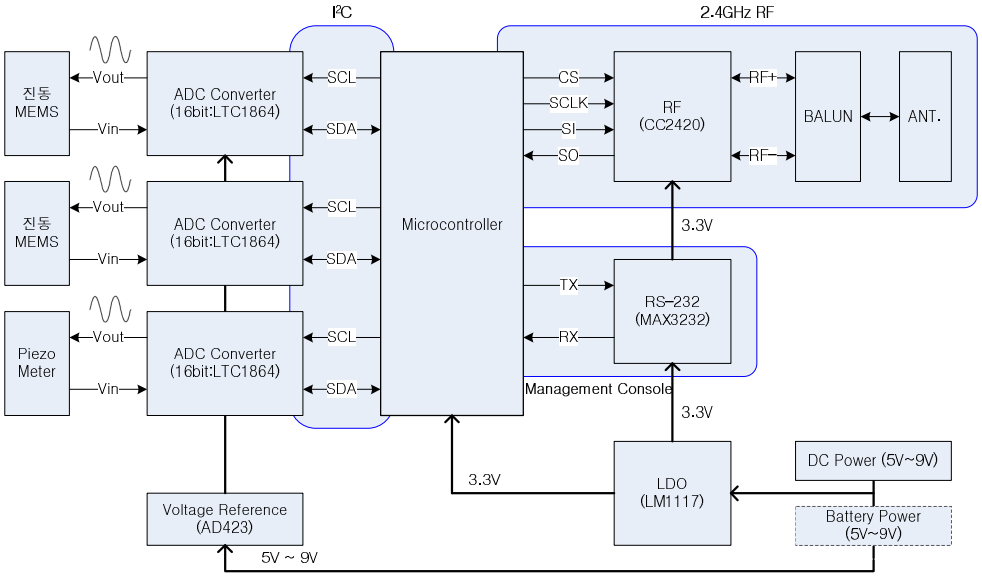
○ u-GISN 플랫폼 상세 구성

(가) 하드웨어 구성

① u-GISN 플랫폼의 주요 사양은 다음과 같음

- 8비트 AVR 코어를 가지는 ATmega128L
- 2.4GHz의 RF를 사용하는 CC2420 RF 트랜시버
- 임피던스 값을 디지털 값으로 변환하는 Impedance Converter
- 정밀전압을 생성하는 Voltage Reference
- ADC, GPIO, JTAG 인터페이스를 지원하는 커넥터
- Power : 배터리 동작 및 DC 전압 (5.0V ~ 9.0V)

(가) 블록다이어그램



<그림 17> u-GISN 플랫폼 블록다이어그램

- ATMEL사의 ATmega128L 프로세서를 메인프로세서로 사용하여 Impedance Converter 와는 Clock, Data 버스를 이용하여 연결
- RF Transceiver 인 CC2420과는 4 Wire SPI 인터페이스를 사용해서 구성
- 각각의 u-GISN 플랫폼의 데이터 및 동작 모니터링은 RS-232 통신을 통해 가능
- u-GISN 플랫폼 보드의 프로그래밍을 위해 이용되는 SPI, JTAG 인터페이스가 구성
- 진동 MEMS 센서의 인터페이스는 2.54mm 피치의 5핀 커넥터가 제공되는데 ATmega128L의 설정에 따라 타 센서의 인터페이스를 할 수 있는 범용성을 확보하기 위해 A/D 변환 포트와 GPIO 역할을 수행할 수 있게 설계
- 각각의 u-시설물 관리용 초소형, 저 전력 네트워킹 플랫폼 보드의 ID를 위해서 부착되는 Silicon Serial Number IC는 1-wire 인터페이스를 통해서 Data Read 만 가능하게 되어 있음

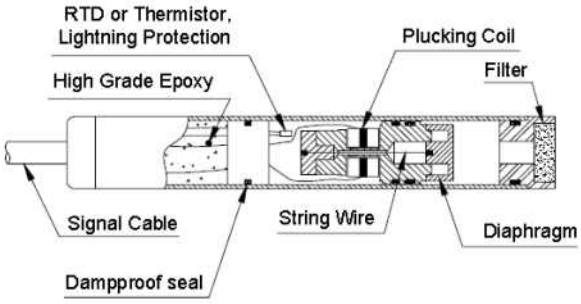
○ u-GISN 플랫폼 데이터 전송기술 실용화

- 진동현식 간극수압계 계측용 보드 개발
- 진동현식 표준형 간극수압계(VW Borehole Piezometer)

: 하수위 변동 계측이나 토양내 간극수압 계측을 위해 사용함. 이 제품은 신뢰도 높은 데이터를 제공함. 측정은 VW Data Recoder 나 Data Logger에 연결하면 자동화 계측이 가능함 이 제품은 제방이나 성토부에 직접 매설할 수 있도록 설계됨. 또한 관측정이나 천공 내부 등 일반적으로 거의 모든 현장에 설치 가능함.



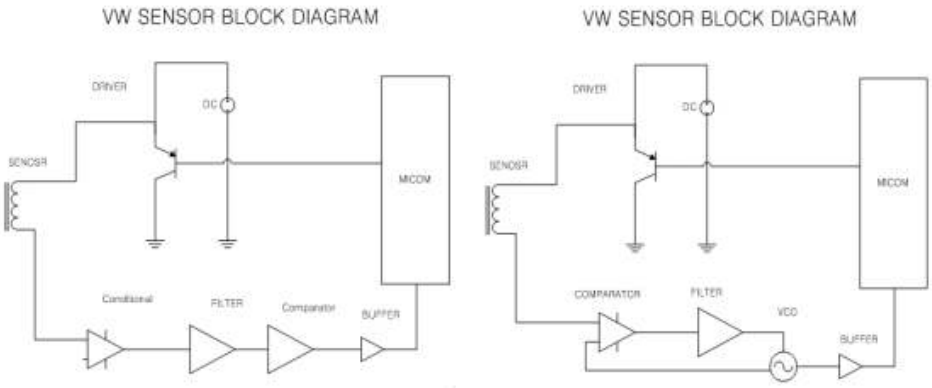
<그림 18> 간극수압계



<그림 19> 간극수압계 단면도

- 개발 시스템

: 진동현 센서는 변형율계, 가속도계, 속도계, 수압계등에 사용되고 있음. 이번에 개발하는 진동현 계측기는 수압계에 적용하기 위해 개발을 진행하였음. 개발 시스템의 하드웨어 블럭도는 <그림 20>와 같음.



<그림 20> 개발 시스템의 하드웨어 블럭도

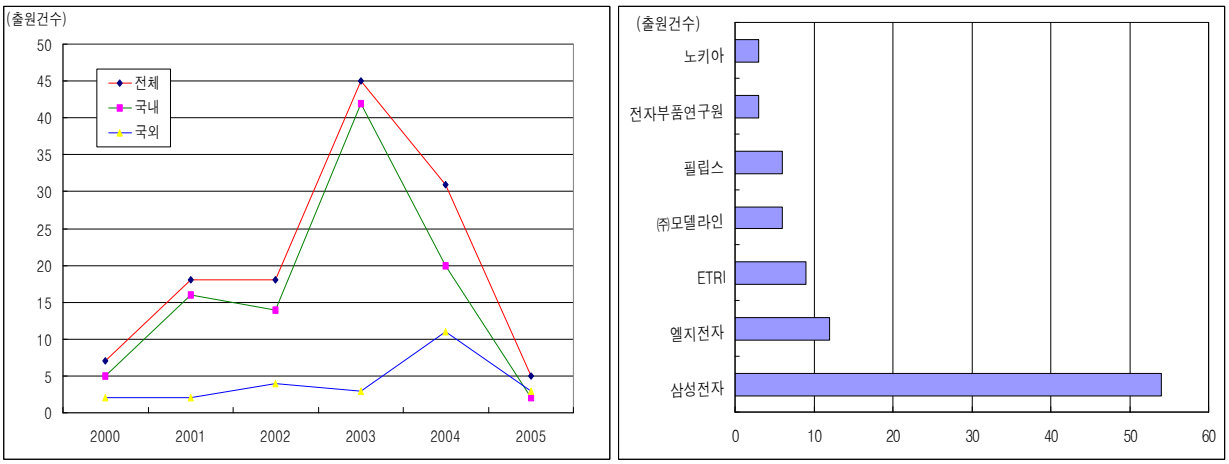
라. 기존 기술과의 비교

○ 기존 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 활용하여 교량의 교좌장치 변위를 측정하였으나, 기 개발된 기술은 지반정보 수집센서 전용 네트워크를 위한 전송 데이터 구조임. 또한 IEEE 802.15.4, WiFi, GPRS 등의 무선을 통해 센터로 데이터를 전송함으로서 국지적이고 단편적인 현재의 지반 정보 수집에서 광역적, 실시간의 지반 정보 수집 확장 가능.

○ 기존 사면 붕괴 모니터링 시스템 기술은 근거리무선통신 기술을 적용하여 사면 붕괴 위험 감지센서를 설치 후 사면 붕괴 위험 발생 여부를 감시할 수 있도록 하는 시스템인 반면, 기 개발된 기술은 사면뿐만 아니라 플랜트 현장, 연약지반 등 사회기반 시설물까지 범위를 확대하였으며, Wibro, LTE, WiFi 등 다양한 종류의 장거리 통신 기술을 활용함. 또한 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서(간극수압센서, 지중온도센서)를 활용한 지상 고정형 센서 개발과 지반정부 수집센서 멀티 모듈까지 개발.

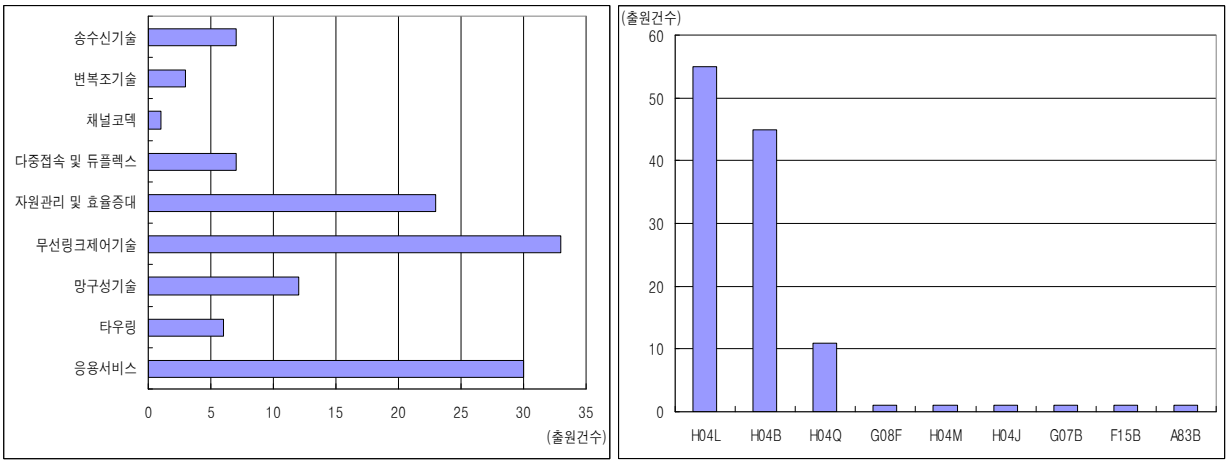
○ 국내 특허 동향

- 홈네트워크, RFID 등 새로운 서비스의 출현 및 국가의 신 성장 산업에 대한 적극적인 정책 지원에 따라 출원이 증가
- 내국인 82.8%(101건), 외국인 17.2%(21건)로 내국인이 압도적으로 많음
- 출원인별 삼성전자는 총 42.6%(54건), 엘지전자가 9.8%(12건), ETRI 7.4%(9건), 전자부품연구원 순
- 외국인은 필립스 4.9%(6건), 노키아 2.5%(3건) 순임. 기술 분류별 특허 출원 건수는 무선 링크 제어 기술, 응용 서비스, 자원관리 및 효율 증대, 망구성 기술, 송수신 기술, 다중접속 및 듀플렉스 기술 순으로 많이 출원
- IPC 분류별 특허 출원 건수는 아래 그림과 같이 H04L, H04B, H04Q, G06F 순으로 많이 출원된 것으로 나타났다. 미국 내 출원 현황과 대비하여 보면, 국내는 H04L가 H04B보다 더 많으나, 미국은 둘 간의 순위만 바뀌었을 뿐 그 외는 같음



<그림 21> 국내전체 특허출원 현황

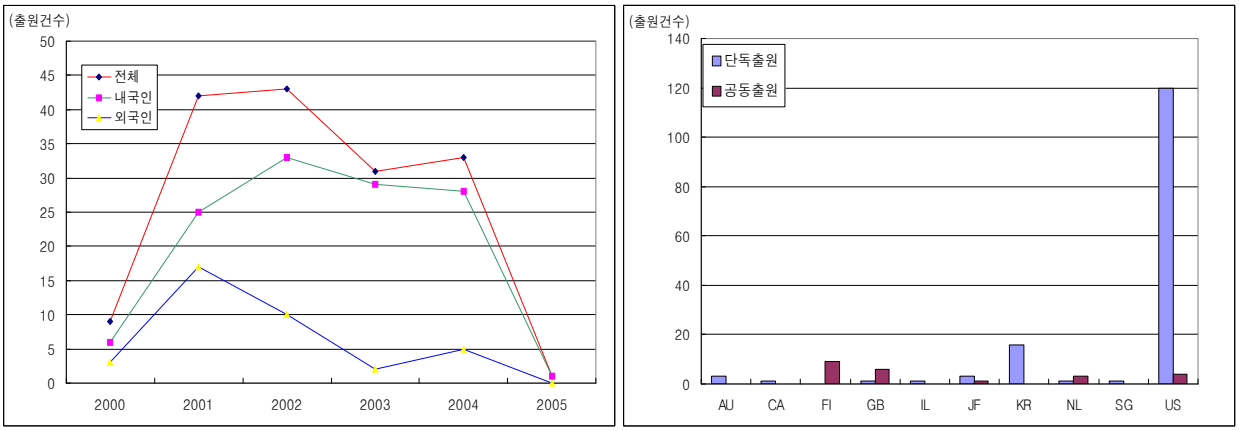
<그림 20>



<그림 22> 국내 기술 분류별 특허 출원현황

○ 국제 특허 동향

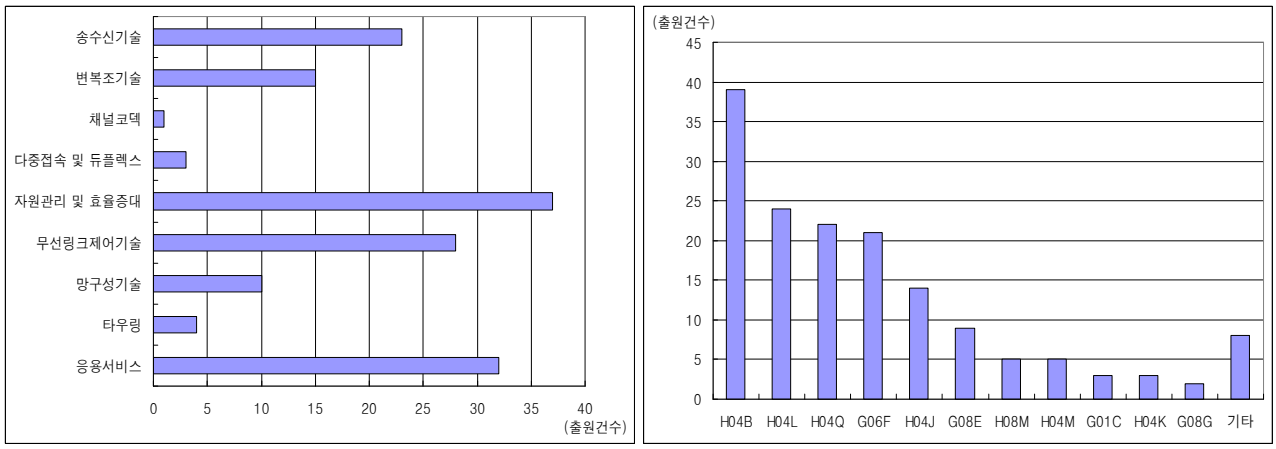
- 내외국인별 특허 출원 건수는 2002년에 출원이 최고치를 기록, 2003년에 다소 감소하였으나 2004년에 미공개 건을 고려하지 않더라도 2004년에 다시 증가하는 추세를 보이고 있어서, 홈네트워크, RFID 등 새로운 서비스의 출현으로 출원이 다시 증가하는 것으로 보임
- 미국, 한국 핀란드, 호주, 일본의 순으로 출원이 많음. 내국인이 76.6%, 외국인 23.4%로 내국인이 압도적으로 많음. 외국인 국적별로 보면, 한국이 10.4%(16건), 핀란드가 5.8%(9건)로 많았으나 공동연구 출원 건은 하나도 없음. 반면, 영국은 단독으로는 출원이 1건밖에 없으나 미국 등과의 공동연구가 많아서 공동연구로만 총 6건을 출원하고 있음



<그림 23> 미국 내 전체 특허 출원 현황

(AU: 호주, CA: 캐나다, FI: 핀란드, GB: 영국, IL: 이스라엘, JP: 일본, KR: 한국, NL: 네덜란드, SG: 싱가포르, US: 미국)

- 한국 내 출원과 비교할 때, 자원관리 및 효율 증대가 무선 링크 제어 기술에 비해 많음.
- 미국 내 출원은 송수신 기술 및 변복조 기술이 그 다음으로 많이 출원, 한국 내 출원을 보면, 망구성 기술, 다중접속 및 듀플렉스 기술 순으로 많이 출원된 것이 차이가 있음.
- IPC 분류별 특허 출원 건수는 H04B, H04L, H04Q, G06F 순으로 많이 출원된 것. 한국 내 출원 현황과 대비하여 보면, 미국은 H04B가 H04L 보다 더 많으나, 한국은 둘 간의 순위만 바뀌었을 뿐 그 외는 같음



<그림 24> 미국 내 기술 분류별 특허 출원 건수

제4절 연구개발의 기술성

1. 기술의 우수성

○ 기존의 A사 제품과 전자부품연구원 개발 제품의 VW타입(간극수압계) 전력 소비량 비교
- 개발된 제품의 전력 소모량은 기존 VW로거 대비 약 30% 수준으로 개발 제품 이 더욱 저전력으로 동작.



<그림 25> A사 제품과 전자부품연구원 개발 제품의 전력 소모량 비교

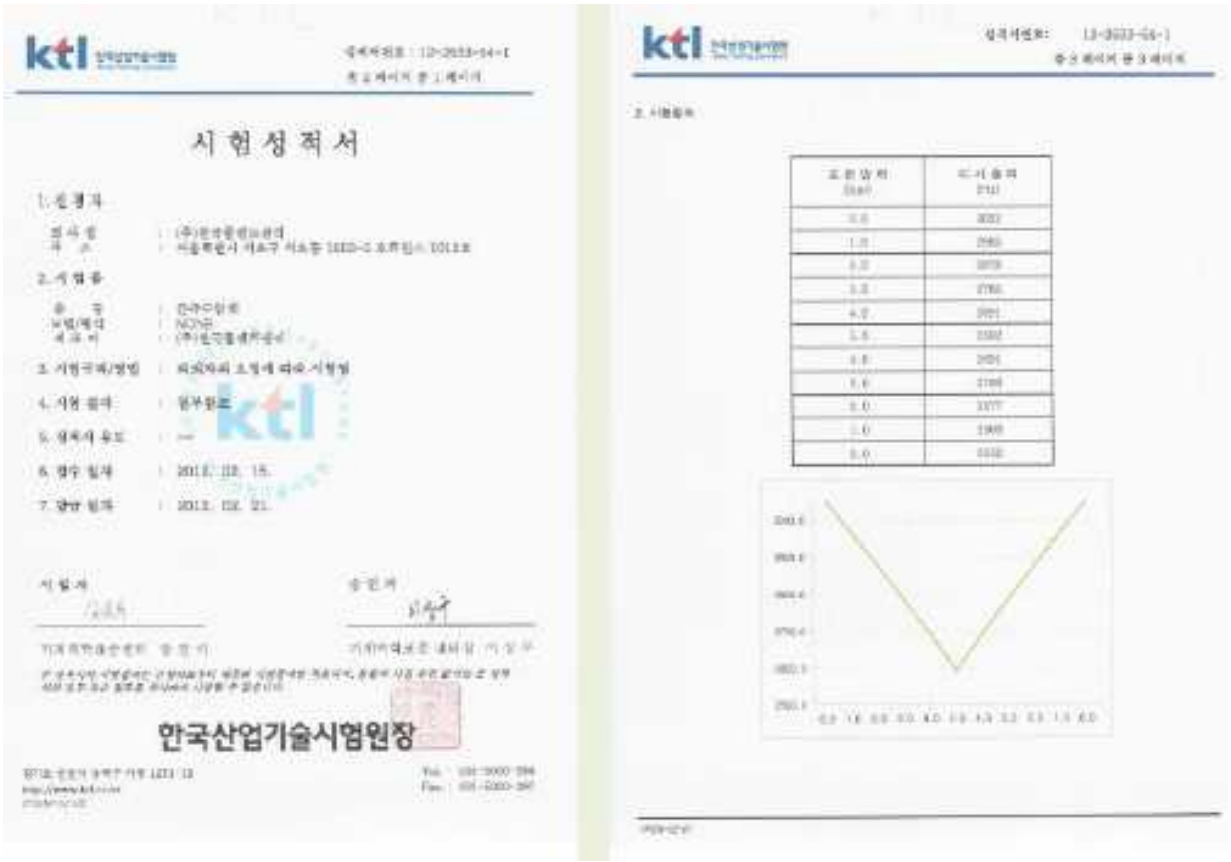
○ 해외 선진 제품과의 기술비교(DT8 Battery Power(영국), CR10X(미국))
- 기존 DAQ 대비 저전력으로 동작.
- Active, Stand by 상태에서는 해외 제품에 비해 저전력으로 동작.
- Sleep 상태는 CR10X 보다 낮은 전력소모량을 가지나 DT8 보다는 높은 전력 소모량을 나타냄
- Solution Cost는 2개 VW 및 M2M I/F, 모니터링S/W를 포함한 패키지 가격임.

	u-GISN	DT8 Battery Power	CR10X
Active	275mW	1200mW	552mW
Standby	50mW	300mW	156mW
Sleep	< 10mW	2mW	15.6mW
Solution Cost	$4,400	$8,000	$13,500

<그림 26> 해외 선진 제품과의 기술비교

○ u-GISN 성능 인증

- 공인증기기관을 통한 성능 검증 수행
- 상용제품과 동일한 성능 구현
- 간극수압계, 경사계 검증 완료



<그림 27> 공인인증기관을 통한 성능 검증 수행

2. 기술의 독창성

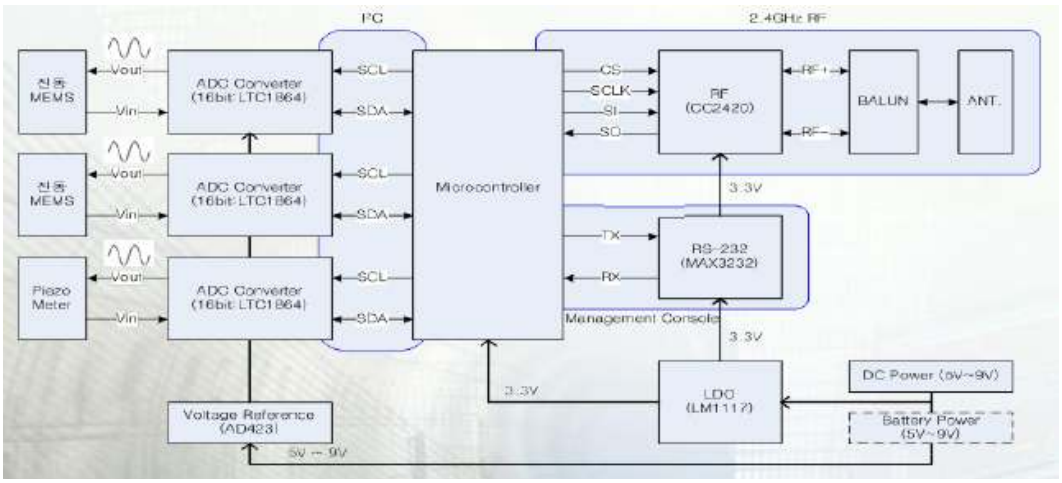
○ u-GISN 시스템

- Open Platform 형태로 개발
- 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술개발(간극수압센서, 디지털침하센서, 지중온도센서)



<그림 28> 멀티 센서 인터페이스를 지원하는 u-GISN

- 지반정보 수집센서 멀티 모듈
- 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증
  (인터페이스 관련 특허는 IEEE 1451.1보다 효율적인 자동화 구조)



<그림 29> u-GISN 블록다이어그램

- 멀티센서 지원 통합형 데이터 로거
- 다양한 통신기능 지원(M2M, WiFi, WPAN 등)
- 다양한 신재생 소형발전기 연결 지원
- 자체 웹기반 관리 기능 내장
- 세계 최고수준의 저전력 동작
- USN기술을 통한 멀티호핑 패키지 구성시 저가격 실현
- 사면의 안전율 및 신로도 지수 연동 지원
- OGC 표준을 통한 통합관제(지능형국토)시스템에 정보 제공

3. 기술의 파급효과

○ USN 기반의 플랜트 위험요소 탐지기술은 다른 산업의 위험물질의 탐지기술 개선에 기여할 수 있으며, 인위적으로 수행되던 부분을 자동화하거나 이미 자동화된 부분을 더욱 효율적으로 개선함으로써 제도적으로 규제되었던 설치조건, 검지조건과 같은 부분에서 변화를 유도할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 또한 기존에는 무선 통신 기술의 안전성 및 보완성 문제로 실제 산업 시스템 적용에 대해 많은 거부감이 존재해 왔으나, 최근 들어 신뢰성을 갖춘 표준화 된 무선 통신 기술에 대한 산업 자동화 업계의 관심이 커져, 유지·보수에 어려움이 있는 유선 기반의 통신 시스템을 무선 기반으로 교체하려는 시도가 큰 폭으로 증가하고 있음.

○ 특히나, 무선 기술에 대한 국제적 표준화 스펙이 구성됨에 따라 산업 무선기술 기반의 산업 관리 및 제어 시장이 크게 확대 될 예정임. 따라서 USN 기반의 탐지 기술과 산업 표준 ISA100 무선 통신 기술, 그리고 플랜트 시설의 위험을 하나로 통합 관제할 수 있는 u-GISN 플랫폼 기술의 파급 효과는 강력할 것으로 예상됨.

4. 기술의 활용방안

○ u-GISN 시스템의 지반모델 생성 및 지반해석을 통한 위험수준 결정

○ 국토의 효율적 모니터링을 위한 지반정보 수집 u-GISN을 성공적으로 구축하여 전국망 USN 망으로 활용 (신규 시장 창출 예상)

○ 국가 주요 SOC 시설물의 실시간 지반정보 네트워크를 확립하여 지역 특성 및 현장 상황 차이에 따른 최적의 안전관리 방안을 제공하며, 주요 지구에 TEST BED를 구축하여 지반 침하로 인한 위험요소와 불안전성을 종합적으로 예측함과 동시에 경제성 분석 수행으로 센서응용기술 및 센서네트워크기술 활용성 극대화 도모

○ 선진 u-GISN 관리체계 구축을 통해 삶의 질, 시민 안전의식 향상과 투명하고 신뢰성 있는 정책 실현, 효율적인 행정업무 및 국가예산 절감 효과를 기대

○ 현장 계측 데이터를 활용하여 플랜트 지반 안전도 평가용 기본 자료 제공
(지반 “안전율 및 신뢰도 지수“ 도출을 위한 기반데이터 제공)

제 2 장 연구개발과제 수행 내용 및 결과

제1절 연구개발의 수행 내용

1. 연구개발의 최종목표

가. 기술개발 목표

○ 지상고정센서형 모니터링 기술 개발 및 사업화
- 국가 주요 지반의 지중환경 정보를 실시간 탐지하여 새로운 u-지중환경 정보 기반 서비스인 u-GISN을 개발
- u-GISN을 이루는 u-GISN 센서노드 패키지, 게이트웨이, 지중모니터링 S/W, 해석 S/W를 플랜트 시설물 내 연약지반에 맞도록 개발하고 플랜트 시설물 내 연약지반에 Testbed를 구축하여 이를 검증 및 기술 사업화

나. 목표 성격 및 설정근거

○ 최근 지구 온난화, 집중호우, 지진 등으로 인한 기상이변으로 국가 주요 SOC 시설물에 대한 지반 정보의 안정성 문제가 주요 이슈로 대두되고 있음. 또한 정부에서 추진 중인 u-국토의 건설을 위해 국가 지반정보의 실시간적 고정형 지상모니터링이 매우 중요하게 부각되고 있음.

○ 지하수 유동, 오염, 지반침하와 같은 지중환경 정보는 u-국토관리에 있어서 새로운 공공/민간 서비스를 창출할 수 있는 주요 정보임. 특히, 그동안 이들 정보에 대한 접근이 매우 어렵고, 외산 특수 시스템에 의존하다 보니 새로운 서비스 창출에 커다란 장애 요인이 되었음. 더욱이 기존의 지반/지중정보는 매우 수동적으로 관리되고 있으며, 측정과 분석 과정 또한 이중적으로 구분되어있어서 실시간 국토 모니터링이라는 국가적 요구에 부흥하지 못하고 있음.

○ 최근 국가 주도의 다양한 USN 시범사업들의 결과 전국 수준의 서비스를 목표로 하고, 주요 의심 시설물들의 지반/지중 정보를 획기적으로 수집할 수 있는 실용화 기술 및 운영 설계 노하우가 센서 및 USN 전문연구소와 기업에 쌓여 있게 되었으며, 이를 본 R&D 사업에 적용하면 경쟁력 있는 융합IT 기술이 될 것임.

○ U-City 및 스마트 시티로 대표되는 첨단 도시의 건설이 늘러감에 따라 시설물 관리 기

술에 대한 요구사항은 점점 복잡해지고 있는 추세이며 유지 보수 비용 또한 급속하게 증하고 있는 추세임. 하지만 기존의 아날로그 기반의 수동적인 시설물 관리는 새롭게 개발되는 실시간 데이터 기반의 능동적인 대체를 요구하는 첨단 관리 시스템에 적합하지 않음. 눈에 보이지는 않는 지하시설물은 지상에 설치된 시설물들에 비해 상대적으로 관리가 어려우며, 지하시설물 관리의 첨단화 및 지능화 기술의 개발은 시급한 문제이다.

○ 결론적으로 본 연구는 국내외의 여러 센서네트워크 시험사업의 경험을 살려 플랜트 시설물 내 지반의 지중 정보를 계측하고 이를 효율적으로 전달할 수 있는 시스템을 개발하여 한국형 u-지반/지중 정보 수집망을 현실화 하는 것을 목표로 함. 이를 통해 위험수준평가/결정에 대한 새로운 u-서비스로의 활용을 연구 함.

다. 성과목표 및 성과지료

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		성과목표			
					질적목표(측정방법)		목표치	검증방법
주관	1	플랜트 시설물 계측기술연구 및 지반 데이터 상태평가	1-1	지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가	①	계측기술 분석	0.05	보고서
					②	현장 적용성 분석	0.05	보고서
			1-2	플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석	①	테스트베드 구축	0.05	테스트베드
					②	신뢰성분석	0.05	테스트베드
			1-3	플랜트 시설물 지반 평가시스템 개발	①	시험성적서	1	시험성적서
공동	2	플랜트지반 모니터링 전용 무선기반 데이터 수집 솔루션 개발	2-1	플랜트 환경에 적용 가능한 무선통신 규격을 활용한 데이터로거 개발/제작	①	시제품 개발	0.05	특허
					②	방폭재질 시제품 설계	0.05	시험성적서
			2-2	u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	①	성능보안	0.05	논문
					②	방폭재질 시제품 제작	0.05	시제품
			2-3	플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보	①	상용풍 제작	0.1	품질인증
공동	3	u-GISN 센서 인터페이스 및 지반 데이터 수집솔루션	3-1	플랜트 환경에 적용 가능한 무선통신 규격을 활용한 데이터로거 개발/제작	①	Geo센서 기술개발	0.05	보고서
					②	인터페이스 검증	0.05	보고서
			3-2	u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	①	솔루션 개발	0.1	S/AW

라. 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가	▪ 기존 사회기반 시설물 계측기술 분석 ▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 분석
	▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발 / 제작	▪ ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발 ▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 방폭 재질의 시제품 설계
	▪ 플랜트 시설물 지반에 Geo 센서 적용기술 개발 및 인터페이스 검증	▪ 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술 개발 ▪ 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증
2차년도	▪ 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석	▪ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축 ▪ 기존 계측시스템과의 성능 및 계측결과 비교를 통한 신뢰성 분석
	▪ u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	▪ 개발된 무선 통신 데이터로거 성능 보완 ▪ 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 제작 및 성능 검증
3차년도	▪ 플랜트 시설물 평가 기술연구 개발	▪ 플랜트 시설물 상태 평가 시스템 구축 ▪ 향후 플랜트 시설물에 적용 가능한 상태 평가 기술 제시
	▪ 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보	▪ 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축 ▪ 요소기술 패키징을 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합을 통해 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션을 확보
	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 및 게이트웨이 개발	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 개발 ▪ 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발

제2절 연구개발의 결과

1. 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가

(1) 기존 사회기반 시설물 계측기술 분석

(가) 구조물 계측 기법

최근 지속적으로 발전해가는 계측기술 및 해석기법의 발단은 다양한 방향으로 좀 더 명확하게 구조물의 이상상태를 판단할 수 있는 기준을 제시하고 있다. 플랜트 기반 시설에 대한 관심이 높아지고 있는 현재의 시장 경제에서 상태진단 기술에 대한 관심 역시 증대하고 있다. 하지만, 상대적으로 타 사회기반 시설물(교량, 건축물, 댐 등)에 비해 직접적으로 이용자의 편의성에 직접적인 영향을 미치지 않아 기술발전의 폭이 좁은 실정이다. 이와 같은 시점에서 플랜트 기반시설물에 대한 새로운 방향의 계측 기법을 제시하고자 하는 본 연구에서는 기존 구조물 계측 기법에 대한 연구동향 및 발전 방향 등을 분석함으로써, 플랜트 감시 시스템 구축을 위해 방향 및 방법을 제시하는 것이 최종목표이다. 이에, 당해 연도에는 구조물 계측기법의 기본 개념과 사회기반 시설물에 적용되었던 다양한 연구들을 제시함으로써 차년도의 연구 방향을 가늠해보고자 한다. 사회기반 시설물에 대한 연구는 가장 일반적인 교량 분야에서는 계측 기법을 살펴보자고 한다. 또한, 플랜 기반 시설물에 도입되는 대표적인 지반 형태인 연약지반에 대한 계측 기술에 대해 살펴보고자 한다.

계측이란 인간의 감각과 계측기기를 통하여 얻은 자료를 공학적으로 정확하게 처리, 분석하여 공사 진행을 안전하면서도 경제적으로 수행할 수 있도록 정보를 관리하는 행위로 정의 할 수 있다. 최근의 계측기기의 발전과 함께 설계기술, 컴퓨터의 발달은 정확한 정보의 수집이나 이를 바탕으로 한 정보의 예측, 계산이 시간 및 경제적인 한계를 넘어서고 있다.

일반적으로 계측은 다음과 같은 목적으로 수행된다.

1) 계획시 지반조건에 관한 지식의 부족에 기인한 설계상의 결점을 시공 기간 중에 발견하여 제거의 수단
2) 구조물 시공 시 구조물이 지반에 미치는 영향과 그에 따른 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향에 대한 정보 제공의 수단
3) 계측자료 분석을 통해 설계의 과다, 과소 여부를 판단하여 경제적인 설계의 보강 및 수정의 수단
4) 축적된 자료를 통해 차 후 설계에 적용하여 합리적인 설계 달성의 수단
5) 긴급한 위험의 징후의 사전 확인 및 안전관리의 수단
6) 구조물 및 지반의 거동을 관찰하여 위험요소를 조기 발견을 통해 공사진행 속도 조절 및 신속한 보강대책 강구의 수단
7) 선행된 과정의 계측 데이터를 향후 과정의 설계자료로 재평가하고, 설계 자료 개선의 수단

8) 공사에 따른 주변의 피해(지반침하, 인접구조물의 침하, 경사, 소음, 진동 등)에 대한 근거 자료 수집의 수단

9) 이론 검증의 수단

일반적인 계측의 목적은 설계와 시공 사이의 기술적인 격차를 최소화 하여 시공시 안전성, 경제성, 합리성을 극대화하고, 데이터 수집, 정리 및 분석하여 안전성을 판단, 예측하여 구조물을 관리를 효율적으로 수행하는데 있다.

계측의 종류는 크게 구조물의 종류에 의한 분류와 시공단계에 의한 분류로 구분할 수 있다.

사회기반 시설물로써 구조물의 종류에 의한 계측 분류는 1) 흙막이 계측, 2) 연약지반 계측, 3) 교량 계측, 4) 댐 계측 및 5) 터널 계측으로 보여줄 수 있다.

흙막이 계측은 지반을 대상으로 하는 토류 구조물 공사에서 설계단계에서 입력하는 지반의 물성치(단위중량, 내부 마찰각, 점착력, 지반계수 등)와 단계별 시공 계획 등이 실제 현장 조건과 일치하지 않는 상황을 설계 및 시공 방법 등의 수정과 보완을 위해 수행된다. 실제적으로 지반 조사 및 설계 단계의 상세 검토를 수행함에도 시공 중에 발생하는 벽체의 응력, 변위, 주변 지반 및 기존 구조물의 거동 등의 정확한 예측이 어렵다. 이에, 토류 구조물 시공 과정에서 지반 굴착과 지지보 설치 및 해체 단계 공사를 안전하고 경제적으로 진행하기 위한 기준과 판단 자료를 제시하기 위한 흙막이 계측의 필요성이 증대되고 있다.

연약지반 계측은 공단, 공한, 주거단지, 도로 등을 조성하기 위한 매립 또는 성토 작업에 이용되는 연약지반의 전단파괴 또한 과대한 압밀침하 등을 사전에 방지하기 위해 수행된다. 일반적으로 각종 압밀이론 도입한 압밀침하량과 시간은 여러 불확실성 요인으로 정밀한 연약지반 계측의 필요성이 증대되고 있다.

교량 계측은 여러 가지 형태의 징후들로 이한 교량의 전반적인 거동을 파악하기 불가능하여, 교량의 거동과 안전에 직접적인 영향을 미치는 요인으로 추정되는 특정 현상만을 계측하여 교량 전체거동의 대표치로 생각하고 설계, 시공관리, 유지관리를 수행하는 것이다. 이에, 계측치의 분석 절차와 계측 시스템의 필요조건을 정확하게 규정하여 계측 시스템을 계획하여야 한다. 구축된 계측 시스템은 과학적인 유지관리 기법 제시를 통해 유지관리 비용의 절감과 구조물의 내구성과 안전성 확보하고 향후 교량 설계 및 해석 기술의 개발 자료로 활용하는데 목적이 있다.

댐 계측은 다양한 목적으로 건설된 댐의 용도별 목적을 충족시키기 위해 강우량, 유입량, 수위, 방류량, 취수량 및 수질 등의 정보를 분석하고, 수집된 정보나 예측자료 등에 근거하여 합리적인 운영 및 조작을 위해 수행된다.

터널 계측은 터널 건설 후 시간의 경과에 따를 노후화와 인접구간의 타 구조물의 건설에 의한 역학적 조건 등의 변화로부터 발생하는 영향 분석을 통해 구조적 안전성을 확보하기 위한 수단으로 활용된다.

시공단계에 따른 계측 분류는 1) 시공중 계측, 2) 초기치 계측, 3) 공용중 계측으로 보여줄 수 있다.

시공중 계측은 영구시설물에 대한 계측장비로 측정하기 곤란하지만, 적용가능한 부분에서 시공단계에서부터 계측을 수행하여 설계의 불확정성 요소 등을 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로서 시공의 안전성과 경제성을 제공하는데 목적을 둔다. 또한, 계측결과 취득 및 분석으로 시공에 즉시 반영이 가능하다. 시공중 계측은 아래의 그림과 같이 계측 센서 및 시스템 구축을 통해 데이터를 수집하고 분석하여 교량의 유지관리 대책을 마련한다. 초기치 계측은 교량의 안전관리에 필요한 초기 자료를 획득하기 위해 수행된다. 이를 위해 설계도면, 구조계산서, 지질조사서, 건축허가서, 사용검사서, 건축물관리대장, 안전점검 결과자료, 유지보수 이력관리기록, 공사 등의 사진자료 등 필요한 자료를 체계적으로 보존하여 안전점검 시 활용한다. 아래의 표와 같이 초기치 계측 방법을 정적재하시험과 동적재하시험으로 구분하여 정리한 것이다.

□ 계측센서설치	· 시공 단계에 따라 해당 계측센서 설치 · 계측신호 케이블 포설 - 임시 단자함 설치
↓	
□ 계측 시스템 구축	· 유지관리용과 별도의 데이터로거 투입 · 임시 계측 시스템 구축
↓	
□ 계측관리 수행	· 계측데이터 수집 · 계측데이터 정리 및 저장 · 임시 계측 시스템 유지
↓	
□ 계측결과 보고	· 시공단계별 보고/월간보고/특별보고 · 분기 및 최종 보고
↓	
□ 분석 및 대책	· 시공중 특이사항 발생 및 구조물 거동 변화 감시시스템 구축 · 시공중 오차 원인 분석 및 오차보정을 통한 시공 정밀도 유지

<시공 중 계측 흐름도>

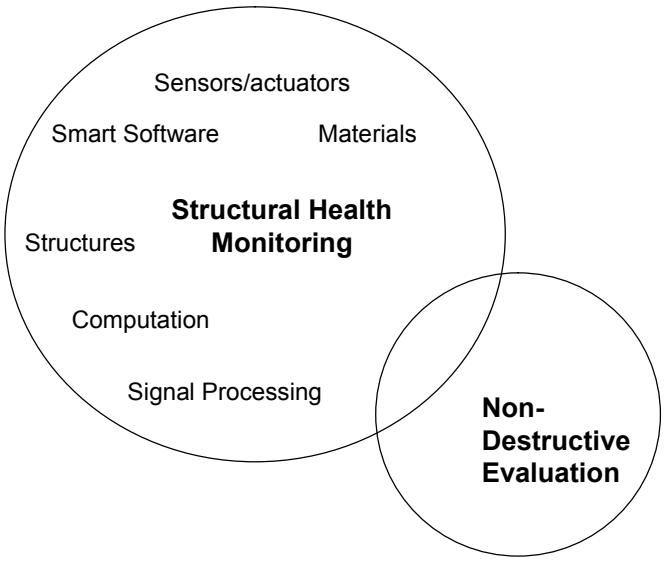
<초기치 계측 방법>

분 류	정적 재하시험	동적 재하시험
활용방법	□ 유지관리 기초자료, □ 내하력 평가, □ 관리기준치 설정, □ 설계방법 검증, □ 결함원인 분석, □ 1차 문제해결	
시험방법	Load Case 설계 시험차량(30ton) 정재하	Load Case 설계 시험차량(30ton) 동재하
획득신호	전산정비 확인 센서, 기기 확인	진동가속도, 변형률계, 처짐, 신축이음
분석 후 획득 자료	프로그램 점검 계측 DB 점검	충격계수, 고유진동수, 중립축 선정, 하중외 횡분해

공용중 계측은 이미 완공된 구조물에 대하여 공용 중에 지속적으로 시설물의 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관적이고 연속적인 자료를 제공하여 효율적이 구조물 유지관리에 기여하는 것이다. 공용중 계측은 구조물의 장기거동 특성을 규명하고, 구조물의 상태 평가 및 손상도 예측에 대한 자료를 제공하며, 태풍, 지진, 초과하중 등의 감시 및 정보 제공 및 보수/보강 이력이 구조물의 내하력에 미치는 효과를 파악한다.

이상과 같이 계측의 종류는 다양하며, 일반적인 계측의 목적은 설계와 시공 사이의 기술적인 격차를 최소화 하여 시공시 안전성, 경제성, 합리성을 극대화하고, 데이터 수집, 정리 및 분석하여 안전성을 판단, 예측하는 구조건전성모니터링(structural health monitoring, SHM) 기법들에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

구조건전성 모니터링은 대상 구조물의 안전성 및 외부 환경조건들에 대한 구조적 건전성을 확보하고자 구조물의 상태를 지속적으로 모니터링하는 것으로 정의된다. 이와 같은 구조건전성 모니터링은 기존의 비파괴 검사의 개념을 일부 포함하는 개념이다. 주기적인 검사를 통해 구조물의 잔존 수명을 예측하고 손상을 탐지하는 관점에서 구조건전성 모니터링과 비파괴 검사는 동일한 개념이라 할 수 있다. 그러나 기존의 비파괴 검사는 많은 비용과 검사 장소, 시간의 제약, 및 작업자의 숙련도에 의존한다는 문제점을 지니고 있다. 이에 대한 해결방안으로 구조건전성 모니터링 기술에 대한 관심이 증대되고 있다. 구조건전성 모니터링의 원활한 적용을 위해서는 구조, 센서 및 재료 특성, 신호 처리, 계산능력 등과 같은 여러 기술들의 통합이 필요하다.



<구조건선성 모니터링 기법의 기본 개념>

비파괴적인 평가를 통해 구조물의 건전성을 평가하는 구조건전성 모니터링 기법의 연구는 지닌 수 십년의 기간 동안 급속도로 발전한 계측 센서 및 평가 기법들의 향상을 통해 많은 발전을 이루어내고 있다. 그 중, 사회기반 시설물을 통해 적용되었던 구조건전성 모니터링 기법은 계측된 신호의 특성에 따라 3가지 유형으로 구분할 수 있다.

첫 번째는 정적 변위와 변형율을 계측하여 외부조건들에 따른 대상구조물의 정적응답 특성을 분석하는 기법이다. 이러한 기법들은 계측 신호의 분석이 용이하여 전문가의 활용이 크게 요구되지 않아 사회기반 시설물의 설계 및 유지관리 시스템의 구축에 많이 적용되었다. 하지만, 구조물이 대형화되면서 의미할만한 외부 하중조건의 생성이 쉽지 않고, 계측 시에는 임의로 도입된 외부 하중조건을 제외한 조건들의 통제가 이루어져야 한다는 단점을 가지고 있다.

두 번째는 저주파수 대역에서 계측된 동적응답 특성을 이용하여 대상구조물의 상태를 모니터링하는 기법이다. 일반적으로, 대상구조물의 손상은 질량 및 감쇠, 강성과 같은 구조파라메터의 변화에 의해 발생한다. 그 중에서도 구조 강성(EI)의 감소에 의해 초래된 손상은 구조물의 동적응답 특성을 나타내는 고유진동수, 감쇠 및 모드형상의 변화를 초래한다. 이와 같은 기본 원리를 토대로 저주파수 대역에서의 동적응답 계측 및 모드 해석을 구조물의 구조건전성 모니터링을 수행하는 연구들이 지속적으로 연구되고 있다.

세 번째는 고주파수 대역에서 계측된 동적응답특성을 이용하여 대상구조물의 상태를 모니터링하는 기법이다. 고주파수 대역에서의 신호를 계측하고 구조물의 상태를 모니터링하는 기법들은 최근에 이슈화되고 있는 스마트재료 개발과 더불어 비약적인 발전을 이루고 있다. 그 중 가장 대표적인 것들이 역학적 변형에 의해 전기적 신호가 발생하고, 전압인가에 의해 역학적 변형이 발생하는 특성을 가지는 압전재료(piezoelectric material), 전기장과 자기장에 따라 유변학적 성질이 제어될 수 있는 ER (electro-rheological) 및 MR (magneto-rheological) 유체, 열조건에 의해 기억된 형상이 제어될 수 있는 형상기억합금 (shape memory alloy), 그리고 지능구조물의 센서로 매우 효과적인 광섬유(optical fiber)

등이 있다. 이 중에서 스마트 재료로써 여러분야에서 가장 널리 적용되고 있는 것은 압전재료이다. 압전재료 중에서 역학적 변형에 의해 압력이 가해지면 압전재료에 전하가 발생하는 압전효과를 이용하는 대표적인 것으로 저주파수영역의 진동응답 특성 추출에 사용되는 압전형 가속도계를 이용한 진동기반 구조건전성 모니터링 기법을 들 수 있다. 또한, 압전효과와 더불어 전기장이 가해지면 압전재료에 역학적 변형이 발생하는 역압전효과를 가지는 PZT 패치를 이용한 고주파수영역의 진동응답특성에 용이한 임피던스기반 구조건전성 모니터링 기법을 들 수 있다.

토목, 재료, 항공 및 우주 분야에서 진동기반 구조건전성 모니터링 기법에 관한 연구는 계측된 가속도 신호의 동적응답 특성인 고유진동수와 모드형상을 활용하여 건전성을 평가하는 연구들이 대부분을 차지하였다. 구조건전성 모니터링에 고유진동수나 모드형상과 같은 모드특성치를 이용하는 이유는 이들의 계측이 구조물의 가진 조건에 거의 제약을 받지 않아 비교적 계측하기 쉽고, 신속한 구조물의 상태 진단에 용이하기 때문이다. 하지만, 고유진동수나 모드형상을 추출하기 위해서는 전문가에 의한 시간의존적인 모드해석 과정이 필요하다는 단점 역시 가지고 있다.

크게 3가지 관점에서 진동기반 구조건전성 모니터링에 관한 연구사례 및 특징들을 살펴보고자 한다. 첫 번째로, 전문가에 의한 시간의존적인 모드해석 과정 없이 가속도 신호 자체를 이용하여 대상구조물의 구조건전성 모니터링을 수행한 연구에 대해 살펴보고자 한다. 두 번째로, 고유진동수나 모드형상을 추출하기 위한 초기 단계인 시간영역의 가속도 신호의 주파수영역으로의 변환과정에서 생성된 주파수응답함수를 이용하여 대상구조물의 구조건전성 모니터링을 수행한 연구에 대해 살펴보고자 한다. 세 번째로, 실제적으로 진동기반 구조건전성 모니터링 기법에서 널리 사용되고 있는 고유진동수나 모드형상을 이용한 연구들에 대해 살펴보고자 한다.

시간 영역의 응답특성인 가속도 신호를 이용하여 대상구조물의 구조건전성 모니터링을 수행하기 위한 방법에는 Kalman 필터, extended Kalman 필터, Monte Carlo 필터, AR(auto-regressive) 모델 등이 있다. 이 기법들 중, 시간영역 응답의 통계적인 신호처리 기법의 하나인 AR 모델을 이용한 대상구조물의 구조건전성 모니터링에 적용한 연구사례 및 특징들에 대해 살펴보면, Sohn과 Farrar (2000)는 AR 모델을 이용하여 고속경비정의 구조건전성 모니터링을 수행하는 연구를 하였다. AR 모델의 AR 계수값의 변화를 실시간으로 분석하고, AR 계수의 이상치 분석(outlier analysis)을 통해 손상 발생을 경보하였다. Bodeux와 Golinval (2000)은 AR 모델과 MA (moving average) 모델이 혼합된 ARMAV (aute-regressive moving-average vector) 모델을 이용하여 지진에 취약한 빌딩구조물에 대한 구조건전성 모니터링을 수행하는 연구를 하였다. Heyns (1997)은 다변수 (multivariate) ARV(auto-regressive vector) 모델을 이용하여 외팔보의 구조건전성 모니터링을 수행하는 연구를 하였다. ARV 모델을 통해 입력하중을 식별하지 않고 시간영역의 입력특성을 이용하여 구조물의 모드형상변화를 추출하였다. 추출된 모드형상변화로부터 모드곡률을 계산하여 손상검색을 수행하였다. AR 모델을 이용한 손상검색 기법의 이론적 모델은 다음과 같다.

□ 가속도기반 AR 모델(Sohn 등, 2001)

AR 모델은 시계열 자료의 통계적인 분석으로 특정 시간단계의 자료를 그 이전 시간단계 자료들의 선형 조합과 임의의 오차의 합에 의해서 표현하는 모델이다. 일정한 시간간격으로 계측된 가속도 신호에 대한 p차 AR 모델은 다음과 같이 정의한다.

$$x(t) = \sum_{j=1}^{p} \phi_j x(t-j) + e(t) \tag{1}$$

여기서, $x(t)$는 임의의 시간 t에서 계측된 가속도 신호를 나타내며, ϕ_j는 AR 계수를 나타내다. 또한, $e(t)$는 시간 t에서의 예측 오차항을 나타낸다. AR 계수의 이상치 발생여부는 다음과 같은 마할노비스 제곱거리(Mahalanobis squared distance, MSD)를 이용하였다.

$$D_\zeta = (X_\zeta - \overline{X})^T S^{-1} (X_\zeta - \overline{X}) \tag{2}$$

여기서, X_ζ는 퍼텐셜 이상치 벡터를 나타내며, $\overline{X}$는 관측치의 평균 벡터를 나타낸다. 또한, S는 관측치의 공분산 행렬을 나타낸다. 손상 경보는 가속도기반 AR 모델의 MSD에 대한 관리도(control chart) 분석을 통해 수행된다. 관리도 분석은 상한관리치(upper control limit, UCL)를 적용하였다.

$$UCL_D = \mu_D + 3\sigma_D \tag{3}$$

여기서, μ_D와 σ_D는 각각 MSD에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. MSD가 UCL을 초과하게 되면 손상이 발생한 것으로 경보하게 된다.

주파수응답함수는 시간영역의 입력과 응답의 측정기록으로부터 스펙트럼을 구하고, 그 스펙트럼사이의 관계식으로부터 산정되어 진다. 주파수응답함수를 이용하여 대상구조물의 구조건전성 모니터링을 수행한 연구사례와 특징에 대해 살펴보면, Agneni 등(2000)은 주파수응답함수를 이용한 유한요소모델 개선 및 손상검색에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 주파수응답함수 추출을 위해 진동응답의 시간영역에서 주파수영역으로 변화과정에서 진동응답 정보의 손실이 손상검색 결과에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 또한, 주파수응답함수를 이용한 구조물의 질량 및 강성 행렬을 평가하였다. Monaco 등(2000)는 손상 민감도 특성을 추출하기 위한 방법으로 주파수응답함수를 이용하는 연구를 수행하였다. 실험을 통해 추출된 손상 전후의 주파수응답함수의 차를 이용하여 손상의 위치를

판별하였다. Chouaki (2000)는 트러스 모델의 수치해석을 통해 초기 13개 주파수에 대해 가중적분법 및 오차 행렬을 적용하여 손상을 평가하는 방법을 제안하였다. Kim 등(2010)은 주파수응답함수의 또다른 형태로 FFT (fast fourier transform) 결과를 평균하여 노이즈 영향을 최소화하는 파워스펙트럼밀도(power spectral density, PSD)를 이용하여 손상발생을 경보하는 기법을 제안하였다. 손상 전후의 PSD의 상관계수(correlation coefficient)의 변화로부터 손상발생을 경보하였다. 주파수 응답특성을 이용한 손상 검색 기법의 대표적인 이론모델은 다음과 같다.

□ 파워스펙트럼밀도의 상관계수(Kim 등, 2010)

주파수응답함수는 가속도 신호의 주파수영역 변환으로 FFT(fast Fourier transform)를 통해 추출된다. 계측된 가속도 신호는 잡음(noise)은 추출된 주파수응답함수도 잡음을 포함한다. 잡음에 의한 영향을 최소화한 주파수영역 변환으로 주파수응답함수의 형태인 파워스펙트럼밀도를 사용한다. 파워스펙트럼밀도 $S(f)$는 Welch′s Procedure를 통해 계산된다. Welch′s Procedure는 식 (2.4)와 같이 취득된 신호를 n_d 등분으로 나누고, 각 등분된 신호에 대한 FFT 결과의 제곱을 평균한 뒤, 신호 데이터의 크기 T로 나누어 파워스펙트럼밀도를 계산한다.

$$S(f) = \frac{1}{n_d T}\sum_{i=1}^{n_d} \left| Y_i(f,T) \right|^2 \tag{4}$$

여기서, $Y_i(f,T)$는 등분된 i번째 가속도 신호의 FFT 결과이다. 대상 구조물에서 계측된 두 개의 독립된 파워스펙트럼밀도함수 $S_1(f)$, $S_2(f)$가 있을 때, 이들 두 함수를 확률변수로 취급하면 두 함수간의 상관계수 $CC_{S_1S_2}$는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$CC_{S_1S_2} = \frac{E\left[S_1(f)S_2(f)\right] - \mu_{S_1}\mu_{S_2}}{\sigma_{S_1}\sigma_{S_2}} \tag{5}$$

여기서, σ_{S_1}과 σ_{S_2}는 각 파워스펙트럼밀도의 표준편차이고, μ_{S_1}와 μ_{S_2}는 각 파워스펙트럼밀도의 평균을 나타낸다. 손상 경보는 파워스텍트럼밀도 상관계수의 관리도분석을 통해 수행되었다. 관리도분석은 하한관리치(lower control limit, LCL)를 이용하였다.

$$LCL_{CC_{S_1S_2}} = \mu_{CC_{S_1S_2}} - 3\sigma_{CC_{S_1S_2}} \tag{6}$$

여기서, $\mu_{CC_{S_1S_2}}$와 $\sigma_{CC_{S_1S_2}}$는 각각 상관계수에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. 상관계수가 LCL이하로 떨어지게 되면 손상이 발생한 것으로 경보하게 된다.

구조물의 고유한 특성을 나타내는 고유진동수를 추출하는 방법은 크게 두가지로 분류된다. 먼저, 구조물의 가진 신호와 응답 신호를 모두 계측하여 고유진동수를 추출하는 방법이다. 이 방법은 1960년대부터 본격적인 연구가 진행되었고, 1980년대까지 수 많은 연구 성과가 보고되었다. 하지만, 토목구조물과 같은 대형 구조물의 경우, 강제 가진(forced excitation)이 상대적으로 도입하기 힘들며, 가진 신호(바람, 파랑, 비, 진행교통량 등)의 계측이 용이하지 않다는 단점으로 인해 적용이 쉽지 않다. 이에, 두 번째 방법으로 가진 신호의 계측없이 응답 신호만을 이용하여 고유진동수를 추출하는 방법이 모색되었다. 토목구조물에서는 1970년대부터 본격적인 연구가 진행되고 있다. 초기에 가장 널리 알려진 고유진동수 추출기법으로는 PP(peak-picking) 기법을 들 수 있다. PP 기법은 계측된 응답신호를 푸리에 변화(Fourier transformation)시켜서 스펙트럼의 첨두 주파수를 고유진동수로 취하는 기법이다. 적용이 간단하지만, 구해진 고유진동수의 정확도가 주파수 영역의 해상도(frequency resolution)에 따라서 다소 달라지는 단점이 있다.

고유진동수를 이용해 대상구조물의 구조건전성모니터링을 수행한 연구사례 및 그 특징들에 대해 살펴보았다. Zak 등(1999)은 복합재료의 박리(delamination)에 의해 발생한 고유진동수 변화 양상에 대한 연구를 수행하였다. 8개의 층으로 구성된 복합재료에 대한 수치 및 실험 분석을 통해 박리의 길이와 고유진동수간의 관계를 분석하였다. 수치 및 실험 분석을 통해 고유진동수의 변화로부터 박리의 길이변화를 모니터링할 수 있다는 것을 제시하였다. Ruotolo와 Surace (1997)는 보구조물의 균열에 대한 모니터링 시 고유진동수 변화는 하나의 균열에 대해서는 유용하나 다중 균열의 발생에 대해서는 모니터링하기 용이하지 않다는 점을 보였다. 또한, 보구조물에 대한 다중 균열은 GA(genetic algorithm) 기법을 적용하여 향상된 모니터링 결과를 도출하였다. Rytter와 Kirkegaard (1997)은 실물크기의 4층 철근 콘크리트 빌딩에 대한 지진 묘사 실험과 신경망(neural network) 기법을 적용하여 고유진동수의 상대적 변화로부터 시스템의 휨강성 변화를 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. Williams 와 Messina (1999)는 보구조물에 대한 유한요소해석을 통해 유도된 고유진동수 민감도 모델을 기초로 예측된 고유진동수 변화와 실험을 통해 계측된 고유진동수변화간의 상관계수를 계산하여 구조건전성모니터링을 수행하여 다중 손상위치 보증지수(multiple damage location assurance criterion, MDLAC)를 제안하였다. 이를 통해 실 구조물의 손상을 모니터링 하고자 하였으며, 제안된 식의 정확도를 위한 유한요소 모델 개선 방법 또한 제안하였다. 고유진동수를 이용한 손상검색 기법의 대표적인 이론적 모델은 다음과 같다.

□ 고유진동수 변화

구조물의 고유한 진동특성을 나타내는 고유진동수의 변화는 구조강성 및 에너지소산특성과 같은 동적응답특성의 변화에 의해 발생한다. 손상에 의한 동적응답특성의 변화는 시간-고유진동수 관계에서 고유진동수의 불연속을 발생시킨다(Randall, 1987). 고유진동수의 불연속을 이용한 손상 경보는 다음과 같이 LCL을 이용한 관리도분석을 통해 수행한다.

$$LCL_{Freq} = \mu_{Freq} - 3\sigma_{Freq} \quad (7)$$

여기서, μ_{Freq}와 σ_{Freq}는 각각 고유진동수에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. 고유진동수가 LCL이하로 떨어지게 되면 손상이 발생한 것으로 경보하게 된다.

고유진동수와 마찬가지로 모드형상도 구조물의 고유한 특성을 나타낸다. 모드형상을 추출하는 방법 역시 고유진동수를 추출하는 방법과 동일하다. 모드형상은 각 모드에 해당하는 계의 공간적인 운동 형상을 나타내는 인자이다. 이와 같은 공간적인 운동형상을 나타내는 모드형상을 직접적으로 구조물의 구조건전성 모니터링에 사용하기 위한 정량적 표현방법으로는 MAC (modal assurance criteria) 값을 산출해 내는 방법과 CoMAC (coordinate MAC) 값을 산출해 내는 방법이 있다. MAC 값은 모드형상간의 상관관계를 분석하는 방법이며, CoMAC 값은 모드형상이 추출된 각 위치에서 모드값간의 상관관계를 분석하는 방법이다. MAC 값이 구조물의 전역적인 거동 분석에 유용한 방법이라면, CoMAC 값은 구조물의 국부적인 거동 분석에 유용한 방법이다.

모드형상을 이용하여 대상구조물의 구조건전성 모니터링을 수행한 연구사례와 특징에 대해 살펴보면, Natke (1997)은 강사장교 모델의 수치해석결과로부터 추출된 고유진동수와 모드형상을 이용하여 거더의 휨강성저하를 검색하는 연구를 수행하였다. Doebling과 Farrar (1997)은 통계적인 식별기법으로 Monte Carlo 기법을 적용하여 모드형상의 변화로부터 손상을 식별하는 연구를 수행하였다. Stanbridge (1997)은 레이져기반의 진동계(laser-based vibrometer)로부터 추출된 모드형상의 변화로부터 손상을 식별하는 연구를 수행하였다. Ettounery 등(1998)은 모드형상을 이용하여 복합구조물의 손상을 식별하는 구조건전성 모니터링기법들의 비교연구를 수행하였다. 복합구조모델에 대한 수치해석을 통해 추출된 모드형상과 고유진동수로부터 각각 강성도 행렬과 유연도 행렬을 추론하여 손상을 식별하였다. 또한, Stubbs 등(2000)에 의해 제안된 손상지수(damage index, DI)법을 이용하여 손상을 식별하였다. 세 방법 모두 수치해석결과로부터 손상의 위치를 잘 예측하였다. 그러나, 실구조물의 적용에 있어 추출가능한 모드형상 및 고유진동수의 수가 제한적이므로, 적용 시 적절한 기법의 선정이 필요하다고 제시하였다. Maeck과 De Roeck (1999)는 실물 PSC 교량을 대상으로 모드곡률을 이용한 손상검색 기법에 관한 연구를 수행하였다. 먼저, 대상구조물로부터 추출된 모드형상을 중앙차분근사(central difference approximation)법을 이용하여 모드곡률을 계산하였다. 계산된 모드곡률을 이용하여 구조물의 강성을 추론한 뒤, 이를 이용하여 손상검색을 수행하였다. Ho와 Ewins (1999)는 모드곡률을 이용하여 손상검색을 수행하는 손상지수를 제안하였다. 또한, 모드형상의 2계 미분값인 모드곡률이 미분과정에서 노이즈 효과가 커진다는 점을 감안하여 노이즈의 영향을 최소화하여 손상검색 결과의 정확도를 높이는 방법을 연구하였다. Garcia 등(1998)은 모드곡률을 이용한 손상검색의 일환으로 ARMA(auto-regressive moving-average) 예측 모델을 이용하여 모드 특성을 추출하는 연구를 수행하였다. 단순지지된 보에서 계측된 가속도신호를 이용하여 모드 특성을 추출하였으며, 모드곡률을 이

용한 손상지수로부터 손상검색 결과를 도출하였다. 모드특성을 이용한 손상검색 기법의 대표적인 모델은 다음과 같다.

□ 모드형상 변화

모드형상은 고유진동수와 동일하게 구조물의 고유한 진동특성을 나타낸다. 모드형상 변화를 정량적으로 표현하기 위하여 모드보증지수(modal assurance criteria, MAC)를 이용한다. MAC은 식 (2.8)과 같이 모드형상의 직교특성을 이용하여 나타낸다(West, 1984).

$$MAC(\phi_i^1\ \phi_i^2) = \frac{[\phi_i^{1^T}\phi_i^2]^2}{[\phi_i^{1^T}\phi_i^1][\phi_i^{2^T}\phi_i^2]} \tag{8}$$

여기서 ϕ_i^1 와 ϕ_i^2 는 서로 독립된 i 번째 모드형상이다. 모드형상을 이용한 손상 경보는 MAC의 LCL을 이용한 관리도분석을 통해 수행된다.

$$LCL_{MAC} = \mu_{MAC} - 3\sigma_{MAC} \tag{9}$$

여기서, μ_{MAC}와 σ_{MAC}는 각각 MAC에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. MAC이 LCL이하로 떨어지게 되면 손상이 발생한 것으로 경보하게 된다.

□ FBDD 기법(Kim 등, 2003)

FBDD 기법은 진동모드특성치의 변화로 직접 손상의 위치를 추정하는 Kim 등(2003)이 제시한 알고리즘을 사용하였다. 먼저, 구조물의 초기상태와 손상상태에서의 진동특성치가 모드실험으로부터 계측된다. 초기상태의 모드특성자료가 기록되지 않은 현존하는 구조물의 경우에는 초기진동특성치가 해석적인 방법으로 추정 될 수 있다. 다음으로, 초기상태와 손상상태의 모드 특성치와 구조특성치가 손상예측모델에 입력되어 손상위치가 추정된다.

손상위치예측모델은 모드민감도와 고유진동수 사이의 선형적 관계로부터 간접적으로 해를 구하는 방법을 사용한다. 전체 NE 부재($j=1,2,\cdots,NE$) 구조계의 계측된 NM개 모드 중 임의의 두 모드 m과 n을 고려하자. 임의의 m모드에 대한 민감도 방정식이 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{j=1}^{NE} F_{mj}\alpha_j = Z_m \tag{10}$$

여기서, F_{mj}는 m모드에서 j부재가 차지하는 변형 에너지량의 비율을 나타내는 모드 민

감도이고, Z_m은 손상발생 전후의 m모드 고유치의 변화율, $\alpha_j(-1 \le \alpha_j \le 0)$는 j번째 부재의 부재강성도의 변화율을 나타낸다. 또한, 임의의 n모드에 대해서 식(11)은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{j=1}^{NE} F_{nj}\alpha_j = Z_n \tag{11}$$

다음으로, 구조계의 단일위치 q가 손상되었다고 가정하자. 이는 다음과 같은 제약조건을 의미한다.

$$\begin{aligned} \alpha_j &= 0,\ j \neq q \\ \alpha_j &\neq 0,\ j = q \end{aligned} \tag{12}$$

여기서, $\alpha_j \neq 0$는 $-1 \le \alpha_j \le 0$인 조건이다. 그러면 식(10), 식(11)은 다음과 같이 표현된다.

$$Z_m / Z_n = F_{mq} / F_{nq} \tag{13}$$

여기서, Z_m/Z_n은 손상 발생에 의한 m모드 고유치변화율과 n모드 고유치변화율의 비이고, F_{mq}/F_{nq}은 m모드에서의 부재 q의 모드 민감도와 n모드에서의 부재 q의 모드 민감도의 상대적인 비를 나타낸다. 위의 식(13)은 식(11)에 의거하여 전체 계측모드 NM에 대하여 다음과 같이 확장될 수 있다.

$$Z_m / \sum_{k=1}^{NM} Z_k = F_{mq} / \sum_{k=1}^{NM} F_{kq} \tag{14}$$

한편, 식(13)과 식(14)은 상기의 가정과 식(13)에 의거하여 부재 q가 손상된 조건에서만 성립한다. 임의의 부재 $j(j=1,2,\cdots,q,NE)$에 대해서 식(15)가 성립하는 정도는 다음과 같은 오차지수를 사용하여 산정하였다.

$$e_{ij} = Z_m / \sum_{k=1}^{NM} Z_k - F_{mq} / \sum_{k=1}^{NM} F_{kq} \tag{15}$$

여기서, e_{ij}는 i모드와 j부재의 오차를 나타내며 그 값은 j부재의 위치가 실제 손상위치 q와 일치하는 위치오차 정도를 지시한다. 식(15)은 오차가 '0' 일 때, j부재에서 손상이 예측되었음을 의미한다. 즉, 미지의 손상위치 q에서 $e_{iq}=0$이 성립하면 q부재에 손상이

발생한 것을 의미하며 식(15)과 같은 오차지수를 통해 j부재의 손상을 예측하기 위한 j부재의 손상위치지수 β_j는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta_j = \left[\sum_{i=1}^{NM} e_{ij}^2\right]^{-1/2} \tag{16}$$

여기서, 손상위치지수 β_j는 $-1 \leq \beta_i < \infty$의 값을 가지며, 추정된 값이 국부 최대인 임의의 위치 j가 손상 위치로 예측된다.

FBDD 기법에서 산정된 손상 지수 β_j는 통계적 가설검증을 통해 손상 위치를 추정한다. 먼저, β_j를 랜덤 변수로 취급하면 β_j의 집합은 모집단을 이루고 이를 정규분포로 가정하면, 정규화된 β_j는 다음과 같다.

$$Z_j = \frac{(\beta_j - \mu_{\beta_j})}{\sigma_{\beta_j}} \tag{17}$$

여기서, μ_{β_j}와 σ_{β_j}는 각각 β_j들의 평균과 표준편차이다. 다음으로, 가설 검증을 이용하여 손상 위치를 추정한다. 먼저, 귀무가설(null hypothesis, H_0)은 부재 j에 손상이 발생하지 않았다고 가정하며, 대립가설(alternate hypothesis, H_1)은 부재 j에 손상이 발생하였다고 가정한다. 두 번째로, 손상이 부재 j에 존재한다는 다음의 법칙에 따라 사실 여부를 결정한다. 1) Choose H_1 if $Z_j \geq z_0$, 2) Choose H_1 if $Z_j < z_0$. 여기서, z_0는 손상 위치를 결정하기 위한 신뢰수준(confidence level)을 나타낸다. 만일, z_0이 2이고 부재 j에 신뢰수준이 2보다 크다면, 부재 j에 손상이 있을 확률이 97.2%보다 높다는 것을 나타낸다. 즉, 부재 j가 신뢰수준을 넘었는지 여부를 확인하여 손상의 위치를 식별할 수 있다.

(나) 연약지반 계측기술

일반적으로 플랜트 시설물 시공현장으로 이용되는 연약지반은 퇴적작용으로 인해 강도가 적고 부과되는 하중조건에 따라 큰 변위를 수반하게 될 뿐만 아니라 시간에 의해 크게 영향을 받는 특징이 있다. 연약지반은 점성토 지반과 느슨한 사질토 지반으로 나뉘는데 이들은 같은 외압을 받더라도 지반반응이 다르며, 반응하는 방식이 서로 다르다. 또한, 연약한 점성토지반 위에 성토를 할 경우 일반적으로 발생하는 문제는 활동파괴와 압밀침하로 나누며, 주변에 구조물 등이 있는 경우에는 소음, 진동, 지반의 변위가 문제로 발생한다.

▪ 연약지반 성토시 고려해야 할 문제점 및 대책은 다음과 같다.

1) 활동파괴

- 현장관리사항 : 성토의 안전도, 한계하중, 한계변형, 균열, 융기 등
- 관리 및 대책 : 성토 후 강도조사 결과에 의한 원호 활동계산 및 안정관리 필요

2) 침하
- 현장관리사항 : 최종침하량, 압밀도, 장래침하
- 관리 및 대책 : 성토 후 압밀시험 결과에 의한 장래의 침하량 예측
  간극수압 측정을 통한 압밀도 평가
  물리적 정수의 변화로부터 추정

3) 지반보강을 목적으로 한 경우의 지반강도
- 현장관리사항 : 지반강도, 재하 하중, 압밀도
- 관리 및 대책 : 지반강도의 증가량 확인조사
  실내시험을 통한 물리정수(함수비등)의 변화로부터 추정

4) 시공 중 주변환경에 미치는 영향
- 현장관리사항 : 주변지반의 변위, 기존 구조물의 변형 및 해당위치의 진동, 소음
- 관리 및 대책 : 실측 관리치

▪ 연약지반 성토시 문제점 해결을 위한 기술적 관심사항

연약지반을 성토하는 과정에서 지반의 거동성을 정량적으로 확인하여 설계 및 시공에 FEEDBACK하기 위한 계측관리는 침하관리와 안정관리로 분류된다.

① 침하관리

◉ 성토에 의한 연약지반의 침하량을 구하고 압밀의 진행상황을 확인
◉ 시공 전에 이론계산으로 구한 침하량과 실측침하량을 비교, 분석하여 현장 시공에 FEEDBACK
◉ PRE-LOADING의 방치기간과 제거시기의 결정
◉ 잔류침하량의 추정과 여성의 결정
◉ 지반개량효과의 확인과 예상 밖의 경우 그 원인규명
◉ 부등침하량의 확인 및 그 대책수립

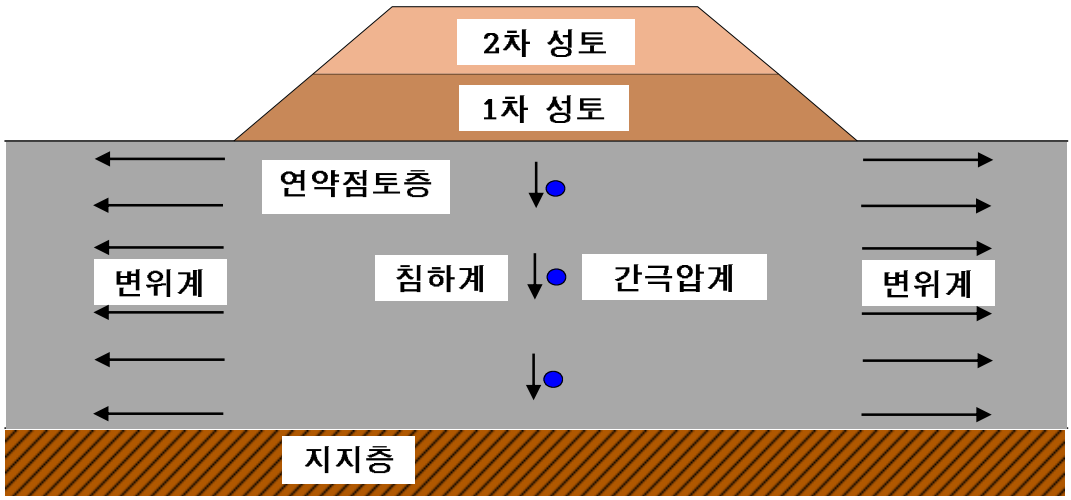
② 안정관리

◉ 성토의 시공속도 관리
◉ 지반의 변형량과 변형속도로부터 안정성을 검토
◉ 간극수압의 이상유무 확인 및 압밀의 진행상황 확인
◉ 계측을 통하여 성토의 안정, 불안정 여부를 판단하여 성토속도의 제어 및 시공대책을 수립

연약한 지반에 성토시 성토속도가 너무 빠르면 점토층 내의 간극수압 상승으로 지반

이 불안정해지며 극단적인 경우는 파괴에 이른다. 그래서 성토에 따른 과잉간극수압의 소산을 위하여 방치 기간을 갖는 단계성토를 할 필요성이 있다. 이때 현장계측은 소요방치기간, 성토속도의 규제, 소단(berm)의 필요여부 등을 결정하기 위한 수단으로 주로 침하, 간극수압, 수평변위 등의 계측을 수행한다.

연약지반의 안정관리와 침하관리를 위하여 지반에 매설되는 계측기는 성토시공 중에 발생되는 문제점을 정확하게 측정하고 파악할 수 있어야 하며 아래의 표와 같다. 그러나 여기에 설명된 계측항목이 연약지반 공사에 따른 계측항목의 전부가 아니며 현장의 적용공법 및 현장여건에 따라 가감될 수 있다.



<연약지반 현장계측 개요도>

<연약지반 공사시 계측항목>

구 분	계 측 항 목	적 용 목 적	계 측 결 과 의 활 용
변 형	지표면 침하	거동파악 대상지점의 지표면에 발생하는 침하량을 통하여 침하안정 및 성토량 등을 관리	성토속도의 관리 여성토 제거시기 결정 등
	지중 층별침하	연약층 두께가 깊은 곳에서 각 층별로 발생하는 침하량을 통하여 매설계측기의 심도보정 및 심도별 침하안정 등을 관리	심부의 지반거동을 파악 성토속도 관리 여성토 제거시기 결정 등
	원지반 측방유동	지표면의 수평방향 이동량과 사면 하부의 침하 또는 융기 등을 통하여 측방유동을 관리	구조물의 안정성 확인 전단활동 파괴의 예지 성토작업의 안정성 확보 성토속도 관리 등
	지중 수평변위	성토사면 하부지반의 수평변위를 통하여 성토 및 측방유동을 관리	성토속도 관리 지중의 측방유동량 확인 전단활동 파괴의 예지
압 력	토압	성토하중에 의한 연직방향의 증가토압을 통하여 지반내부의 지지력 등을 관리	특히 샌드파일 타설장소에서 샌드파일과 주변 지반의 하중분담 효과를 확인
	간극수압	성토하중에 의한 지반내부 간극수압의 증감을 통하여 침하안정 및 시공관리	대책공의 효과 확인 침하안정 효과 확인

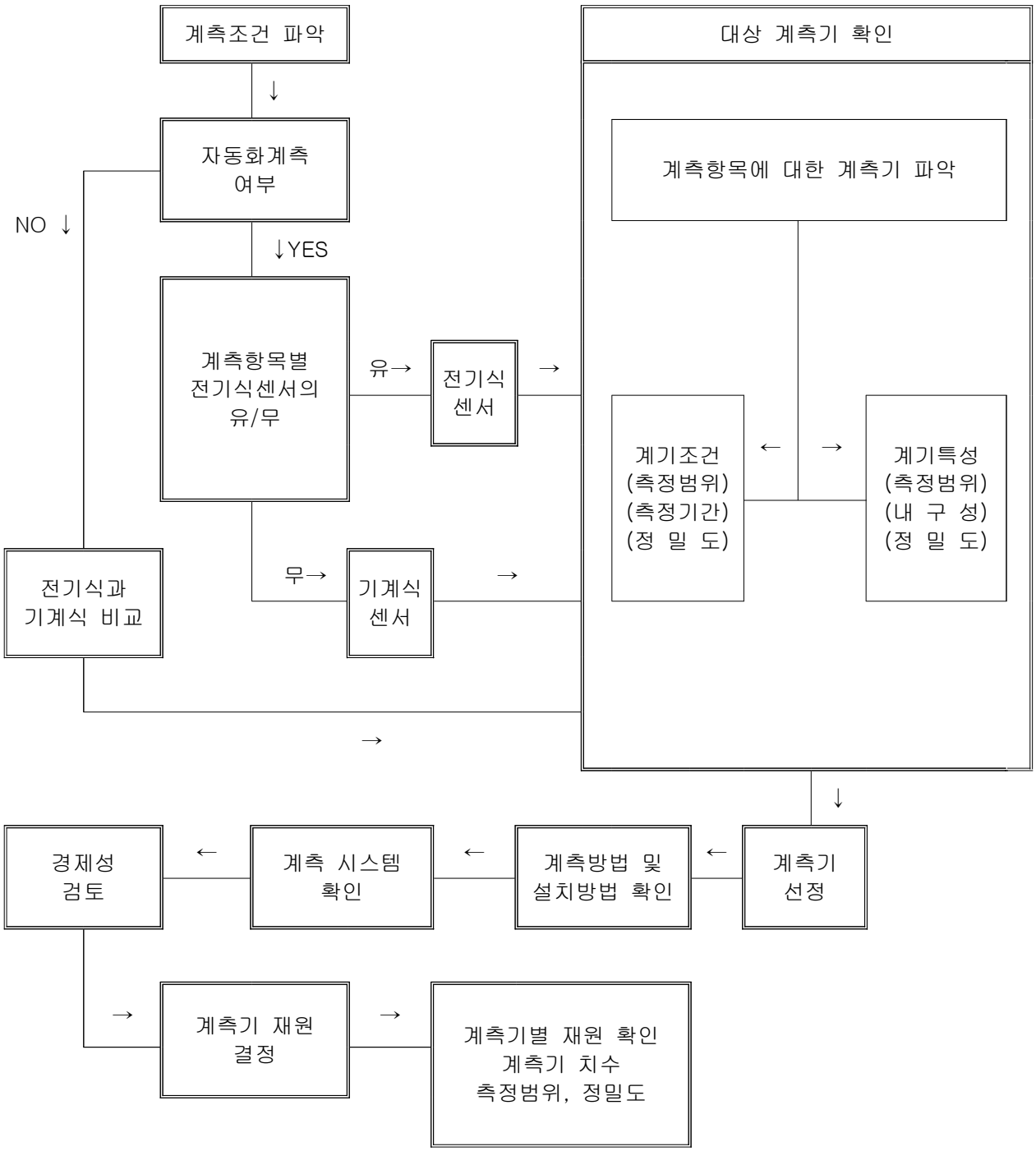
계측기는 기계식의 경우 감지장치(센서)와 측정장치가 일체로 형성되어 있는 경우가 많으나 전기식의 경우는 분리되어 있는 경우가 많다. 이 가운데 전기식 계측기는 감지장치가 지하, 수중, 터널, 교량상부 등 열악한 환경조건에 설치되어야 하는 경우가 많으며 사

람의 접근이 쉽지 않을 수 있다. 따라서 계측기의 감지장치 및 측정장치는 다음과 같은 구비조건을 갖추고 있어야만 기대치를 충족시킬 수 있다.

<계측장비의 구비 조건>

항 목	내 용
견 고 성	열악한 현장조건에서 견딜 수 있어야 한다.
내 압	토압 또는 수압에도 고유의 역할을 충실히 수행해야 한다.
내 열 성	적용되는 환경에 따라 영하의 온도로부터 고온까지도 견 딜 수 있어야 한다.
내 구 성	유지관리에 적용되거나 장기간 사용이 필요한 경우 소요 기간 이상의 역할수행이 요구된다.
정 확 성	계측결과를 신뢰할 수 있도록 오작동이 없어야 한다.
보 정	주변환경의 변화에 따른 오차를 보정할 수 있어야 정확한 자료 수집이 가능하다.
범 용 성	유사장비 또는 동종의 측정장비로 측정이 가능하여야 안 심하고 사용할 수 있다.
경 제 성	구입가는 저렴하며 유지경비도 적게 소모되어야 장기적인 사용에 유리하다.
내 식 성	시간 및 주변환경의 변화에 따른 부식과 변형이 없어야 한 다.
다 양 성	온도 및 기타 필요한 자료를 동시에 수집할 수 있어야 정 밀 계측에 유리하다.

계측기를 선정하기 위해서는 주어진 시방과 현장의 상황 및 계측 목적에 적합할 뿐 아니라 다음과 같은 세부적인 사항까지도 검토한 이후에 결정함이 타당하다.



<계측기 선정 흐름도>

현장에서 제시한 계측장비의 시방에 적합하도록 당사에서 선정한 계측장비는 다음과 같다.

<계측장비 및 항목>

계측항목	적 용 계 측 기		기 술 사 양	
	측 정 장 비	소 모 자 재	측 정 장 비	소 모 자 재
지표면 침하	LEVEL	STEEL PLATE STEEL PIPE STEEL BAR	정밀도 : ± 1mm	PLATE 900 X 900 X 10 PIPE 2inch & 6inch
지중 간극수압	V.W READOUT	V.W PIEZOMETER LEAD CABLE	정밀도 : 0.1 uSec 측정범위 : 500 ~ 3000 Hz	정밀도 : ± 0.5% F.S 측정범위 : 150% F.S RANGE : 3 bar
지하 수위	WATER LEVEL METER	CASAGRANDE TIP PVC PIPE	정밀도 : ± 1mm RANGE : 50m	PIPE : KS 규격품 CASAGRANDE TIP 0.5m FILTER PIPE
지중 수평변위	BIAXIAL INCLINOMETER	ABS ACCESS TUBE	정밀도 : ± 0.01mm 측정각 : ± 90。 유효측정각 :± 35。 작동온도 : -20 ~ 50。	내경 : 50mm 외경 : 60mm 길이 : 3m

계측위치는 해당 구조물의 규모와 환경 등을 면밀하게 파악한 이후에 결정 할 필요가 있다. 이는 계측의 시행목적에 따른 적합한 위치선정은 물론이고 이에 따른 배치간격과 수량, 깊이 등을 고려해야 한다는 것이다.

시공순서에 따라서 설치시기의 순위를 결정해야 하며 시공이 진행됨에 따 라서 설치 예정 위치의 접근 가능성이 있는지 여부와 위험성이 다분한 작업위치 및 설계조건의 사전검토를 위한 선행확인 등 계측 위치를 결정하는데 있어서 중요한 변수는 매우 많으므로 신중을 기하여야 한다.

계측기는 위치 및 수량을 결정함에 있어서 상호 보완적이면서 상호 비교가 가능하도록 계획할 필요가 있다. 즉, 주계측 항목과 보조계측 항목이 적절 하게 배분되어야 경제적이면서 효율적인 계획이 될 수 있다는 것이다. 부수적으로 계측기에 대한 손, 망실에 따른 보완성도 고려하여야 계측관리에 필요한 최소한의 자료를 수집할 수 있다.

연약지반 도로공사 현장에서의 계측기 배치는 아래와 같이 “한국도로공사”에서 제시하는 설계 기준에 따르되 현장의 주어진 환경에 따라 조정할 수 있다.

◉ 계측위치 선정기준

가. 대상지역 전체를 대표하는 지점

나. 취약지역

다. 지반개량 효과분석 및 안정관리 대상지역

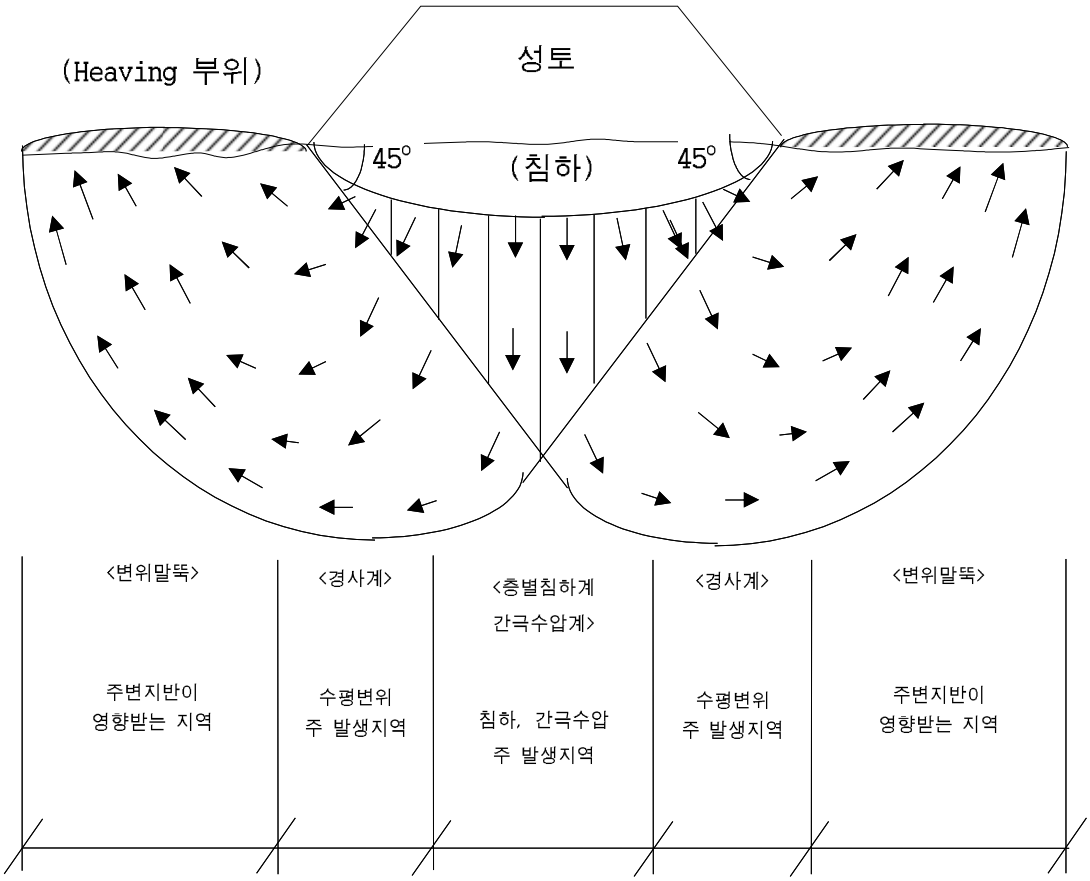
라. 차량, 중장비 등으로부터 보호 및 관리가 용이한 지점

마. 계측기의 상호 연계를 파악할 수 있도록 통합

바. 사전에 자료와 현지조사 및 시추조사 등으로 지반조건이 충분히 파악된 지점

◉ 계측기 배치 원칙

연약지반에 성토 재하시 이에 의한 지반거동을 고려하여 설치한다.



<연약지반 성토시 지반거동 및 계측기 배치 예상도>

◉ 일반적으로 현장에 적용할 계측기기와 설치 원칙은 다음과 같다.

<계측기 종류 및 배치기준>

계측기 명칭	계측목적 및 검토사항	계측기 배치원칙	비 고
지표 침하판	- 설치지점의 전침하량 측정 - 성토속도 조절 - 여성토 제거시기 판정	연약지반 성토시 100m 간격으로 성토단면의 중앙 및 노견부에 설치	
간극 수압계	- 성토하중에 의한 지반내 간극수압의 변화측정 - 과잉간극수압의 소산정도 및 유효응력 증가량 유추 - 압밀의 효과 확인 - 압밀진행 및 강도증가 상황 확인	연약심도가 깊거나 높은 성토지역에 층별침하계와 동일한 지점에 설치 (공당 소자는 3개 이하)	계측기 매설지점은 모래를 이용하여 필터를 형성하고 기타의 여굴지역은 벤토나이트로 채워 준다.
지하 수위계	- 성토에 의한 지하수위의 변화 파악 - 간극수압과 비교하여 과잉 간극수압의 소산 정도 및 유효응력 증가량 유추	간극수압계가 설치되는 지점에서 성토의 영향을 받지 않는 위치에 설치	다공관식 다공관 길이는 충분 확보 여굴은 모래 채움
경사계	- 성토 사면부 수평변형량과 변형속도 측정 - 성토 중앙부 최대침하량과 함께 분석하여 성토사면의 안정관리 - 측방유동토압에 의한 교대 안정성 확인	전단파괴가 우려되는 고성토지역 좌, 우 사면에 설치. 현장상황에 따라서 교대의 전, 후면 또는 측면에 설치	ABS 수지형 관을 사용 여굴지역은 주변의 지반과 유사재료로 채운다.

◉ 계측기 평면배치 계획

과업을 수행하기 위한 계측기의 현장배치는 설계도를 기본으로 하여 계획한다. 단 현장에서 준비하는 과정 및 시공 도중에 상황에 따라 부득이 변경할 필요가 있을 경우에는 설계자와 감독자로부터의 확인 및 승인을 획득한 이후에 변경하도록 한다. 아래에 일예를 소개하였다.

<계측기 배치수량 계획 예>

STATION	계측항목				비 고
	지표침하판	간극수압계	지하수위계	경사계	
4 + 620	3	1	1	-	* 표준관리 단면 (신설구간)
4 + 800	3	1	1	-	
5 + 360	1	1	1	-	* 표준관리 단면 (확장구간)
5 + 640	1	1	1	1	
5 + 840	1	1	1	-	
6 + 100	1	1	1	1	
0 + 020	3	1	1	2	* 집중관리 단면 (신설구간 + 확장구간)
0 + 100	3	1	1	2	
0 + 750	3	1	1	2	
0 + 940	3	1	1	2	
4 + 420	3	1	1	2	
4 + 800	3	1	1	2	
5 + 140	3	1	1	2	
6 + 300	3	1	1	2	
합 계	34	14	14	18	

◉ 계측기 단면배치 계획

현장지역의 토질은 상부로부터 매립층 → 점토층 → 풍화암 → 연암층의 순서로 형성되어 있다. 상기의 토층 순서에서 매립층은 위치에 따라서 발달의 정도가 미약하거나 없기도 하다. 또한 중간 점토층의 두께 및 역학적 특성은 위치별로 큰 차이를 보이기 때문에 기 조사된 지반조사결과 등을 이용하여 지중경사계 및 간극수압계의 설치심도를 보다 면밀히 결정해야 한다. 따라서 아래와 같은 기준을 설정하여 이에 준하여 계측기 단면배치를 계획하였다.

□ 간극수압계가 설치된 위치는 반드시 지하수위계를 인접위치에 설치하여 수위 변동에 따른 측정수압에서 정수압을 보정 하도록 한다.

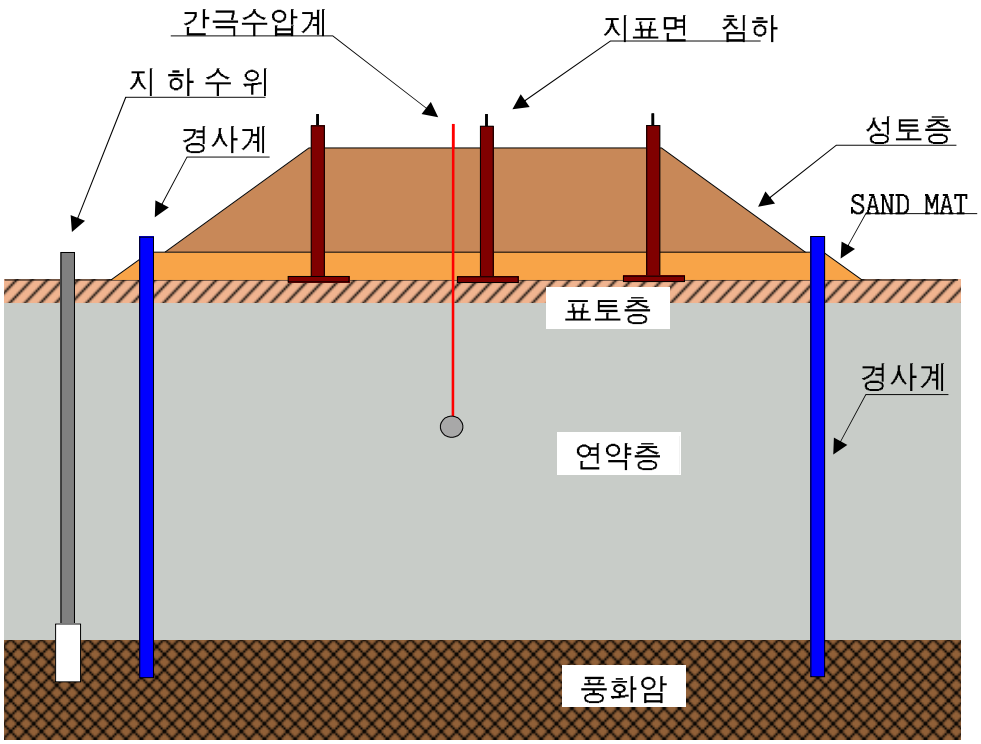
□ 간극수압계는 반드시 점토층 내에 설치하며, 점토층의 두께를 고려하여 균등하게 배분되도록 배치한다.

□ 지하수위계 선단 TIP의 위치는 피압수가 분출되지 않도록 배치해야 한다.

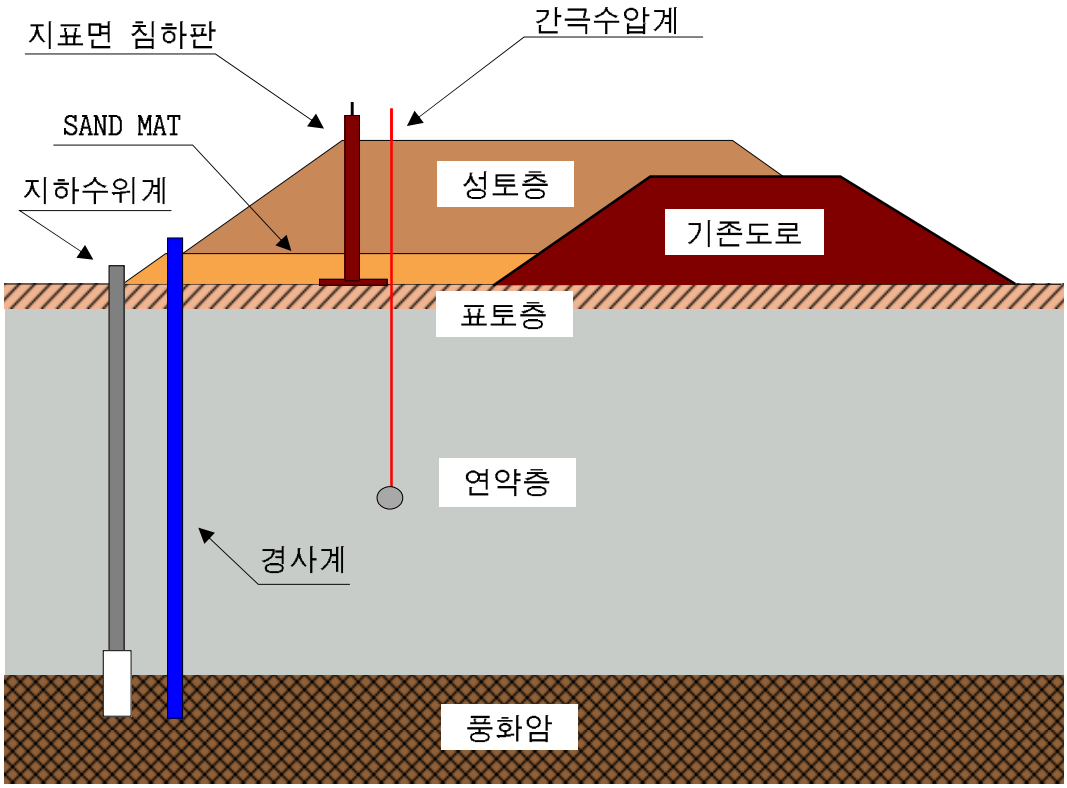
□ 집중관리 단면 : 계측항목 전량을 집중배치

□ 표준관리 단면(확장구간) : 계측항목 전량을 확장되는 방향으로 부분배치

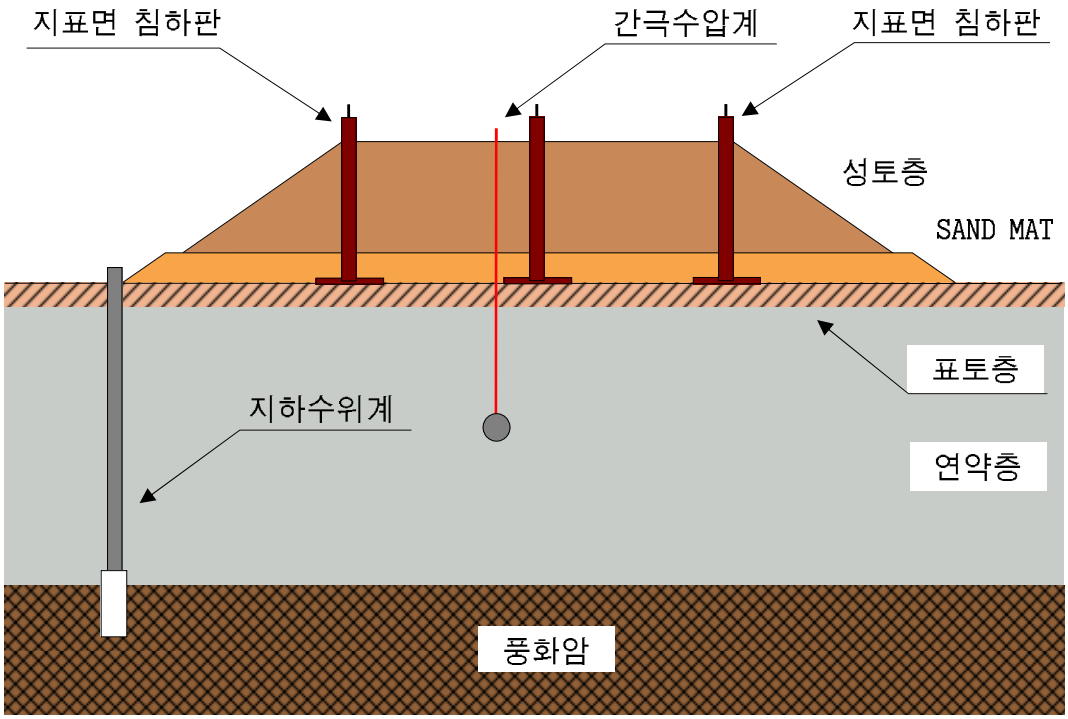
□ 표준관리 단면 (신설구간) : 경사계를 제외한 계측항목 전량을 배치



<집중관리 단면 계측기 배치>



<표준관리 단면(확장구간) 계측기 배치 상세도>



<표준관리 단면(신설구간) 계측기 배치 상세도>

◉ 계측기 매설 및 측정방법

▪ 지표침하판

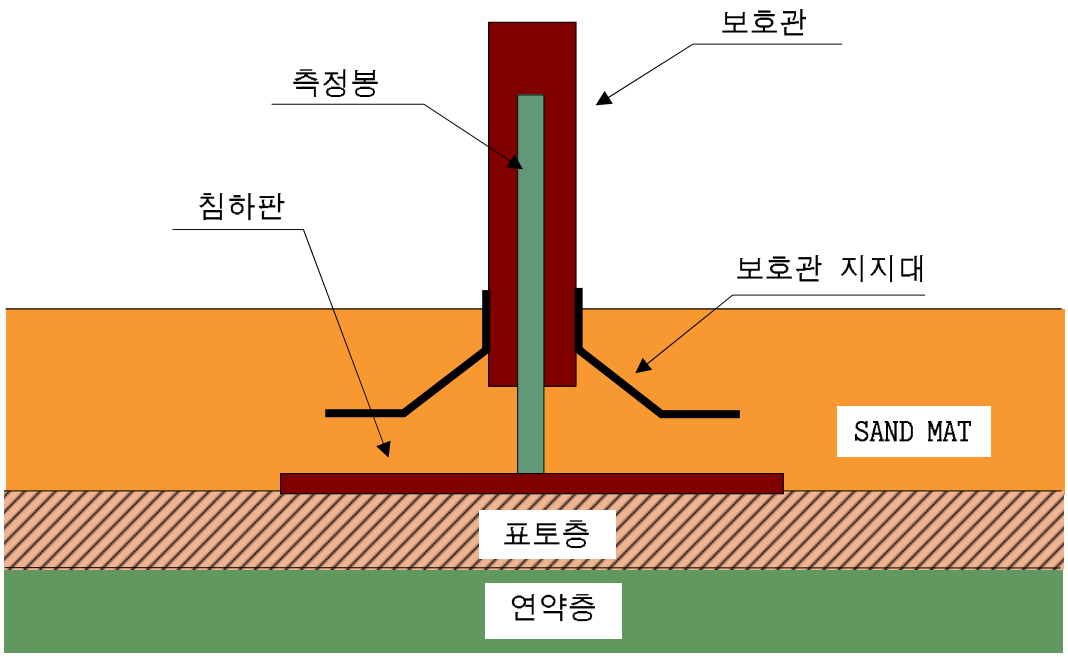
1) 설치방법

① 설치에 필요한 자재, 도구, 장비가 충분하게 확보되어 있는지 확인한다.

② 계측위치의 모래(SAND MAT)를 원지반이 나타날 때까지 장비를 이용하여 제거하고 침하판의 수평(레벨)을 확인하여 설치한다.

③ 침하판 위로 모래를 약 0.3m 포설하고 보호관을 설치한다. 이때 침하판의 측정봉과 보호관이 닿지 않도록 주의한다.

④ SAND MAT를 설치 이전의 상태로 되메움으로 설치를 종료한다.



<지표침하판 설치 상세도>

2) 측정방법

① 측정장비(LEVEL)를 정확하게 SETTING한다.

② STUFF를 기준점에 고정시키고 기준값을 확인하고 이를 측정일지에 기록 한다.

③ STUFF를 해당 침하판의 침하봉에 고정시키고 측정하여 이를 측정일지에 기록한다.

④ 측정이 종료되면 계산을 통하여 침하량을 확인한다.

▪ 간극수압계

1) 설치방법

① 설치에 필요한 자재, 도구, 장비가 충분하게 확보되어 있는지 확인한 후 지름이

75mm 이상으로 하여 계획하는 심도까지 천공한다. 이때 천공장비는 물보링이 가능한 장비를 이용하며 작업 이전에 지하매설물을 확인하여 사고를 예방한다.

② 굴착공 조성이 완료되면 심도와 천공상태를 조사하고 문제가 없다고 판단 될 경우 소량 (약 0.2m)의 모래를 투입하고 10분 가량 대기 후 수압계가 고정될 위치를 확인한 이후 준비된 수압계(초기값이 확인된 검증된 제품으로 24시간 이상을 수침시키어 보관함)를 공내에 투입한다. 이때 수압계 측정선에 설치심도를 확인할 수 있도록 길이를 표시하여 설치심도를 명확히 파악함이 필요하다.

③ 수압계를 정상적으로 투입한 것이 확인되면 모래를 이용하여 약 1m 내외의 차수층을 형성하고 이후 벤토나이트 경단을 약 0.5m 높이로 투입한다. 모든 과정마다 심도조사를 비롯하여 정수압과 측정수압 등의 내용을 빠짐없이 기록함이 필요하다.

④ 벤토나이트 경단의 상부 심도를 확인한 후 시멘트와 벤토나이트 혼화액을 1 : 1 : 10(물)의 비율로 제작하여 투입한다.

⑤ 수압계를 1개의 공내에 다단식으로 설치할 경우에는 시멘트와 벤토나이트 혼화액으로 여굴 채움을 실시할 경우 설치시간이 과다하게 소요될 뿐만 아니라 시멘트+벤토나이트 혼화액에 의한 수압계 필터의 차폐가 우려되므로 모래만으로 여굴 채움을 실시하도록 하며 최상부만 시멘트+벤토나이트 혼화액을 충진 하도록 한다.

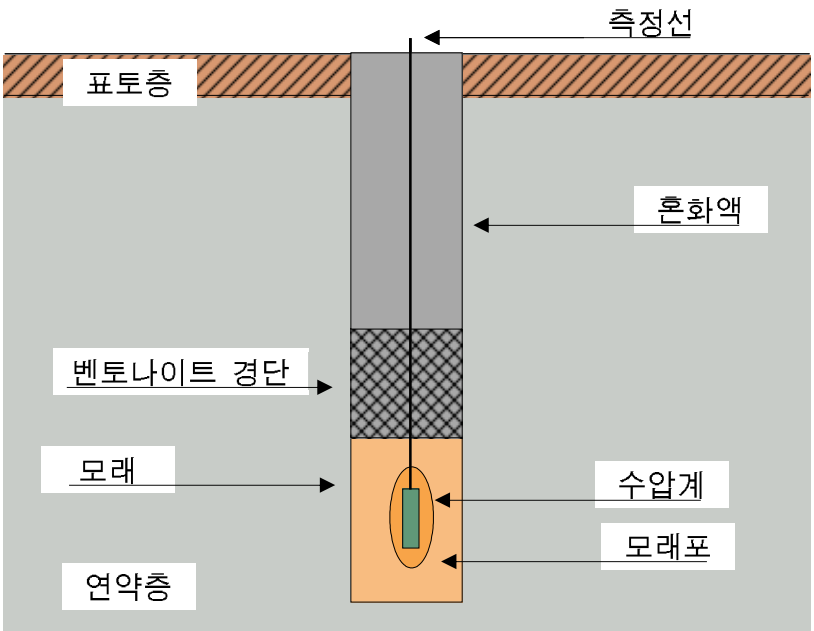
⑥ 그라우팅 완료후 보호장치를 설치하여 중장비 이동 또는 통행자에 의하여 훼손되지 않도록 한다.

2) 측정방법

① 수압계 Cable을 측정장비에 연결한다.

② 측정장비의 전원을 켜고 측정값을 확인하여 측정일지에 기록한다.

③ 측정이 완료되면 수압계 Cable을 정리하여 손상 및 훼손되지 않도록 한다.



<간극수압계 설치 상세도>

▪ 지하수위계

1) 설치방법

① 굴착공의 지름을 100mm 이상으로 하여 벽체 배면에 설치계획 심도까지 천공한다.

② 굴착하는 동안 Casagrade Peizometer Tip과 PVC Stand Pipe를 Coupling으로 연결한다.

③ 굴착공 조성이 완료되면 심도와 천공상태를 조사한 후 소량(약 2 리터)의 모래를 투입하고 10분 가량 대기 후 Casagrande Tip과 Pipe를 커플링으로 연결하여 공내에 차례로 설치한다.

④ 모래를 이용하여 스탠드 파이프와 굴착공 사이의 공간에 차수층을 형성한다

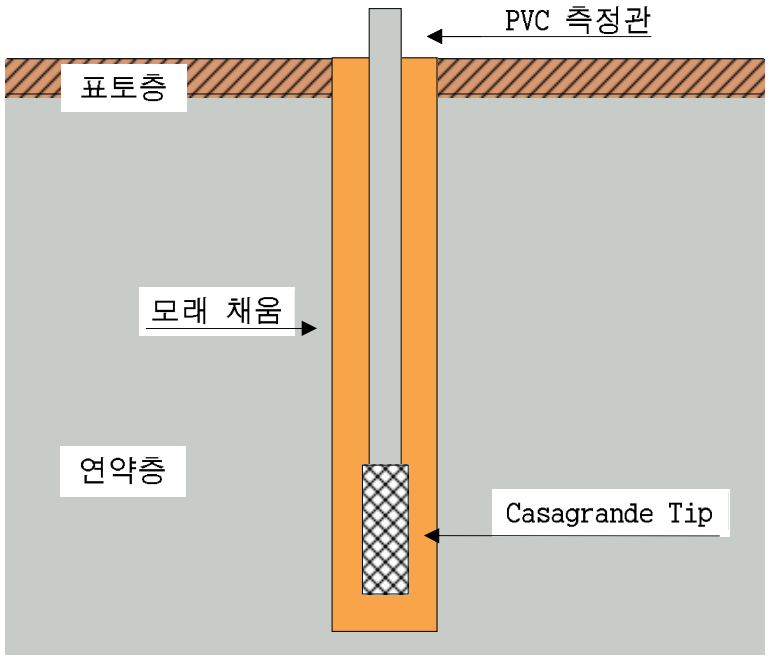
⑤ 지표면까지 모래로 여굴을 메워주고 보호마개를 씌운다.

2) 측정방법

① 수위 감지봉을 PVC Stand Pipe 안으로 투입하여 조심스럽게 내린다.

② 감지봉이 Stand Pipe내 수면에 닿을 때 램프가 켜지고 부저가 울리는데 이때의 깊이를 측정한다.

* 주의 : 지하수위관의 상부 일정한 위치를 기준으로 설정하여 초기계측 이후에도 항상 동일한 기준점에서 계측을 수행하도록 한다.



<지하수위계 설치 상세도>

▪ 경사계

1) 설치방법

① 굴착공의 지름을 100mm 이상으로 하여 계획하는 심도까지 천공한다.

② 굴착하는 동안 경사관 한쪽 끝을 보호마개로 씌우고 리벳(RIVER)을 사용하여 체결하고 방수 처리한다.

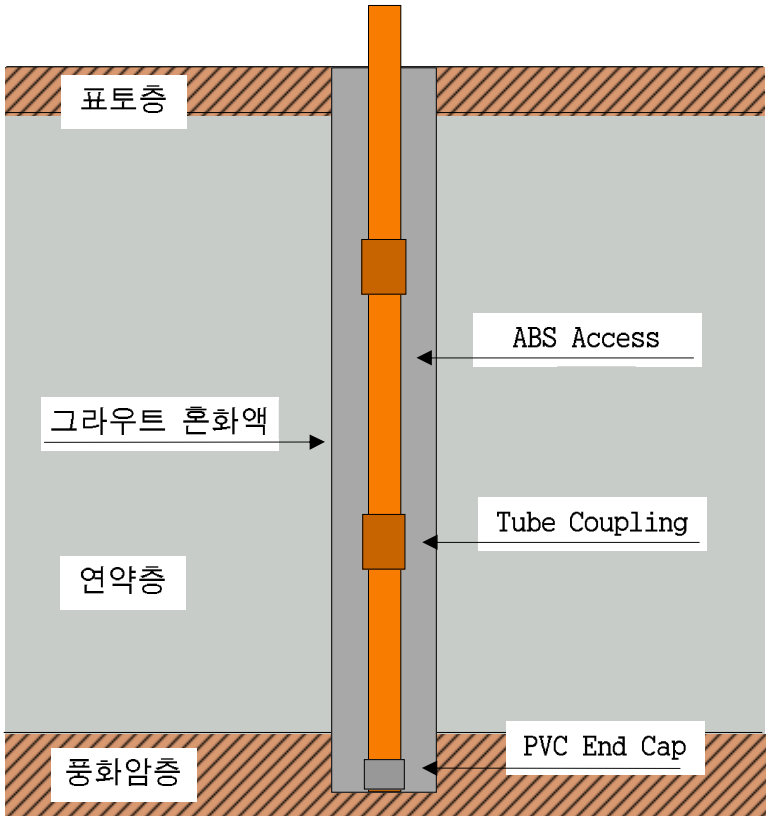
③ 경사관은 커플링을 사용하여 리벳팅해서 조립하고 테이프와 실리콘으로 방수 처리한다.

④ 굴착공 조성이 완료되면 심도와 천공상태를 조사한 이후 조립된 경사관을 내리고 방향홈이 예상되는 변위 방향과 일치되도록 조정한다.

⑤ 경사관의 하단부는 지지층에 1~1.5m 이상 관입 시킨 후 시멘트 그라우팅을 실시하되 토질에 따라서 시멘트와 벤토나이트를 적정 비율로 혼합하도록 한다.

⑥ 경사관과 굴착공과의 여굴이 충분히 채워지도록 관찰하면서 그라우팅을 실시한다.

⑦ 그라우팅이 완료되면 최소 1일 경과 후 2차 그라우팅까지 실시하고 보호시설을 하여서 중장비 이동 또는 통행자에 의한 훼손을 방지한다



<경사계 설치 상세도>

2) 측정방법

① 경사관의 보호마개를 열고 경사관의 상부에 Cable Stopper를 설치한다.

② 경사관 내부에 감지기를 투입한다. 이때 충격이 가하여지지 않도록 한다.

③ 감지기와 케이블 그리고 Indicator를 연결한 후 Indicator의 전원을 켠다.

④ 감지기의 정상작동을 확인한 후 케이블을 당겨 0.5m씩 올리면서 Indicator 에 값을 저장한다.

⑤ 상부 Cable Stopper까지 계측이 완료되면 감지기를 경사관에서 꺼내어 수평으로 180° 회전시킨 뒤 다시 2)~4)의 순서대로 계측을 행한다.

⑥ 계측자료의 수집이 완료되면 경사관에서 감지기를 회수하고 기계장치를모두 분리시킨 후 경사관 보호마개를 원래 상태로 씌우는 것으로 계측을 종료한다.

▪ 계측빈도

계측빈도는 시공 및 유지관리를 수행함에 있어서 계측목적을 달성하기 위한 최소한도 이상의 자료가 수집될 수 있도록 결정한다. 이때에는 자료의 변화속도 및 안전도를 충분히 고려할 필요가 있다. 또한 시공 및 유지관리에 따른 자료의 매 단계별 관련성과 변화속도 및 수집되는 자료의 중요성에 따라서 빈도를 달리 결정하는 것도 필요하다. 이는 일률적인 빈도로 수행하는 것에 비하여 보다 효율적인 자료를 취할 수 있다는 장점을 갖게 된다. 자료의 수량과 수집에 필요한 속도에 있어서 수동과 자동은 현격한 차이를 보이므로 이에 따른 계측빈도 또한 달리함이 타당하다. 자동으로 시스템을 갖춘 경우에는 빈도를 자유롭게 조절할 수 있으므로 별다른 어려움이 없으나 수동 시스템의 경우는 이를 관리하는 인력과 장비에 따라 무리함이 없도록 적절하게 계획함이 필요하다. 본 과업을 수행하기 위한 계측빈도는 “한국도로공사”에서 제시하는 설계 기준에 따라 다음의 [표 6-1]과 같이 결정한다.

<계측빈도 계획>

기간 / 계측항목	지반 개량중	성토 기간중	성 토 종 료 이 후			비고
			최초 1개월	1개월 ~ 3개월	3개월 이후	
지표침하계	1주 2회	1주 2회	1주 1회	2주 1회	월 1회	소정의 압밀도 확인이 필요
간극수압계	1주 2회	1주 2회	1주 1회	2주 1회	월 1회	최대 과잉간극수압 확인이 중요하며 소정의 압밀도 확인이 필요
지하수위계	1주 2회	1주 2회	1주 1회	2주 1회	월 1회	간극수압과 비교 가능한 정수위 파악이 필요
지중수평변위계	-	1일 1회	1주 2회	1주 1회	-	한계 성토고의 파악 및 전단파괴 방지를 위한 위험감지 필요

(다) 무선기반 계측시스템

▪ 무선 센서의 연구동향

기존 유선계측시스템에서 무선계측시스템으로의 대체가 가능하게 된 결정적인 요인으로 1) 무선에 의한 데이터 송수신 시스템과 2) 저가의 무선센서의 개발을 들 수 있다. 저가의 무선센서의 대표적인 예로 MEMS (micro electro mechanical systems) 센서가 있다. 디지털 회로의 실리콘 층에 기계적 센싱 변환기들로 구성된 MEMS 센서는 소형이고 저가의 정밀한 센서이다. 근래에 개발되고 있는 무선 계측 장비는 대부분 MEMS 센서를 사용한다.



<계측시스템의 패러다임>

무선계측시스템의 도입에 관한 연구는 Staser와 Kiremidjian (1998)에 의해 처음으로 제안되었다. 제안된 무선계측시스템은 준 실시간(near real-time)으로 구조물에 설치된 센서로부터 획득한 신호를 무선 모뎀을 이용하여 하나의 집중화된 신호취득 시스템으로 단순히 전송한다. 전체 운영시스템은 대부분의 시간을 대기모드(sleep mode)로 있으면서 주기적으로 구조물에 발생되는 외부 충격이나 구조물의 건전성을 점검하는 방법을 사용하였다. Agre 등(1999)은 AWAIRS (adaptive, wireless arrays for interactive RSTA in SUO)라 불리는 무선센서시스템을 개발하였다. 양방향(P2P) 통신방식을 도입하여 무선센서간의 송수신이 이루어진다. 또한, 신호 처리기, 무선모뎀, 전원공급장치로 구성되어 있

다. Mitchell 등(2001, 2002)은 구조물의 상시감시를 위한 무선 신호계측시스템을 제안하였다. 또한, 하나의 통신채널을 이용하여 다중 무선센서보드로부터 동시에 신호는 획득할 수 있는 아날로그 다중기(multiplexer)를 이용한 마이크로 센서를 개발하였다. Lynch 등(2001, 2003)은 무선계측시스템인 WiMMS (wireless modular monitoring system)를 개발하였다. 이 시스템은 광범위한 아날로그 센서들을 수용할 수 있는 4MHz CPU가 내장된 8bit의 AVR (automatic voltage regulator, 자동전압조정기) 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 센서 장치들과의 통신은 직접순차확산 스펙트럼(direct sequence spread spectrum, DSSS) 방식을 적용하였다. 센서로는 14bit 디지털 신호를 출력하는 Duty Cycle 변조기(modulator)를 사용하는 MEMS 센서인 ADXL210 가속도계를 사용하였다. Rice와 Spencer (2008)는 Imote2 센서 플랫폼을 이용하여 가속도응답을 계측하는 SHM-A 센서노드를 개발하였다. Imote2 센서 플랫폼은 저전력 32Bit 프로세서 PXA271을 사용하여 신호처리 성능이 우수하며, 풍부한 메모리 지원(256kB SRAM, 32MB FLASH, 32MB SDRAM)을 보유하였다. 2.4GHz 무선 안테나를 이용한 광대역 통신 및 대용량 신호 처리가 용이하다. 무선 센서를 이용한 대상구조물의 상태 진단을 위해서는 체계적인 센서네트워크 기반의 모니터링 시스템 구축이 필요하다. 구축된 시스템은 각종 계측 항목별 데이터에 대해 일관되고 표준화된 데이터베이스를 구축할 수 있는 토대를 마련할 수 있다.

▪ 센서네트워크 기술

센서네트워크 시스템은 광범위한 영역에 설치되어진 센서노드들이 자체적으로 형성된 네트워크를 통해 계측데이터를 기간망으로 전달하는 시스템을 말하는데, 센서네트워크는 일반적으로 유비쿼터스 센서네트워크(USN : Ubiquitous Sensor Network)로 인식되고 있다. 일반적인 센서네트워크의 형태는 다음과 같다.

□ 센서
□ 네트워크에 연결된 네트워크형 센서
□ 기기간 상호 접속성 및 상호 운용성을 높인 개방형 센서네트워크
□ 통신 기능의 모듈이 센서에 내장되어 기기가 도처에 편재하는 유비쿼터스 센서네트워크

센서네트워크 관련 기술은 센싱 기술, 내환경 기술, 전력 절약 기술, 소형화 기술 등의 “센서 기술”, 무선기술, 네트워크 제어기술 등의 “네트워크 기술”, 데이터 수집 기술, 데이터 분석 기술, 원격 보수관리 기술 등의 “시스템 기술” 등으로 분류된다. 각 기술 내용에 대해 정리하면 다음과 같다.

센서기술로써 센싱 기술은 실설계의 정보 및 데이터를 취득하는 기술과 그것을 고감도화하거나 정도를 올리는 기술이며, 온도, 압력, 자기, 가속도 등의 물리량을 측정하기

위한 것부터 화상 데이터 취득 및 위치 정보 취득 등의 기술이 말한다. 내환경 기술은 센서가 온도, 습도 변화에 대해서 영향을 받지 않기 위한 방진, 방수, 온도, 충격 대응 등의 기술을 말한다. 전력 절약 기술은 기본적으로 전지나 배터리 기술에 의존하는 센서의 전력을 효율적으로 사용하기 위한 측정 간격, 무선 발신 간격 및 제어 방법에 대한 기술을 말한다. 소형화 기술은 설치 장소에 구애받지 않고 센서를 설치하기 위한 기술을 말한다. 소형화 기술은 저가격화에도 공헌하고 있다.

네트워크 기술로써 통신기술은 다량의 센서가 전파 간섭을 일으키지 않고 서로 통신 가능토록 하는 기술이다. 네트워크 제어 기술은 센서간의 자율적인 통신을 제어하기 위한 기술이다.

시스템 기술로써 데이터 수집 기술은 수집한 정보 제공을 위한 대량의 정보를 실시간으로 수집하는 기술(실시간 수집 기술), 수집한 데이터를 목적에 따라 분석하는 기술(데이터 분석 기술) 및 운용을 위한 각 센서의 이상을 감지하여 원격으로 보수 관리하는 기술(원격 보수 관리 기술)을 말한다.

▪ 센서네트워크 기반의 교량 모니터링 시스템 설치 사례

□ 남해대교

경남 하동군과 남해군을 잇는 우리나라 최소의 현수교인 남해대교는 1973년 개통되었으며 현재 약 20년 이상 사용되고 있다. 동서 측에 각 49개의 해어, 박스단면을 갖는 보강형, 2개의 주탑, 평형 주케이블로 이루어진 3경간 타정식신(Earth-Anchor Type)현수교인 남해대교는 늘어나는 교통량으로 인하여 과도한 하중을 받고 있으며, 또한 완공 후 상다한 시일이 경과도어 강재의 부식이나 용접부위의 균열 등이 발생하였다. 1993년 수행한 안전진단 결과, 남해대교에 발생한 결함들에 대한 보수대책이 마련되었으며, 또한 교량의 철저한 유지관리, 정기적인 안전진단 및 영구적인 계측 관리를 통하여 교량의 안전성 및 거동을 파악, 붕괴 등의 사고를 미연에 방지하여야 한다고 지적되었다.

<남해대교 계측항목>

구분	획득신호	분석 후 획득자료	활용자료
주탑	경사	경사각 변화	주탑의 경사 및 진동 측정
	진동가속도	고유진동수(교축, 교축직각)	고유진동수, 진동모드의 측정
보강형	변형률	단면 응력 변화	하중에 의한 단면 응력 분포 및 변화
	진동가속도	고유진동수	수직, 교축직각, 비틀림 동특성 확인
	신축이음변위	지점부 신축이음 변위	지점부 신축이음량 확인
기초	지진가속도	지진 진동가속도	지반운동에 의한 지진동 측정
외부환경	풍향풍속	주탑정부, 보강형 풍향풍속	과대 풍속 발생시 교량 관리 교량 사용자의 안전 확보

□ 진도대교

울돌목 해협을 가로질러 전라남도 해남과 진도를 연결하고 있는 우리나라 최최의 사장교이다. 진도대교의 상부구조는 폭 11.7m, 길이 484m의 3경간 연속 강상자형 주형과 69m 높이의 강상자형 주탑 2개 및 68개의 Locked Coil 타입 케이블로 구성되어 있으며, 하부구조는 주탑을 지지하는 2개의 교각과 영구 상향력에 저항하는 2개의 교대로 구성되어 있다.

1984년 개통된 진도대교는 약 10년이 경과한 1993년 교량의 안전성 검토를 위한 정밀안전 진단을 실시하였다. 당시 진도대교에는 구조적 결함은 없으나 주형 중앙부의 캠버가 설계도보다 다소 처져 있으며, 구조물 내부는 해수로 인한 표면 부식이 발견되었고, 장력이 다소 감소된 케이블이 1개소 있으며, 비틀림 Flutter에 대한 안전여유가 낮은 것으로 분석되어 장기적 유지관리를 위해 풍소계측을 실시하여 공기 역학적 안전성 검토를 수행할 것을 권장받았다.

<진도대교 계측항목>

구분	획득신호	분석 후 획득자료	활용자료
주탑	진동가속도	고유진동수(교축, 교축직각)	고유진동수, 진동모드의 측정
보강형	뱐형률	단면 응력 변화	하중에 의한 단면 응력 분포 및 변화
	진동가속도	고유 진동수	수직, 교축직각, 비틀림 동특성 확인
	경사	경사각 변화	보강형의 경사 및 진동 측정
케이블	지진가속도	행어 장력, 고유진동수	행어 케이블 도입 장력의 크기 및 변화 확인
기초	지진가속도	지진 진동가속도	지반운동에 의한 압력 지진동측정
외부환경	풍향풍속	주탑정부, 보강형 풍향풍속	과대 풍속 발생시 교량 관리 교량 사용자의 안전확보

□ 서해대교

1993년 서해안 고속도로에 위한 총 연장 7,310m의 초대형 해상교량으로서 충남 아산만을 3종류의 교량가설 공법으로 횡단하는 공법이다. 주항로부에 가설되는 사장교는 연장이 990m이며 255m 간격으로 설치되는 2개의 갑문으로 인하여 400m 이상의 항로폭이 필요하기 때문에 주탑 사이의 간격은 470m로 계획하였으며 선박의 왕래를 위해 62m의 형하고를 확보하고 있다.

사장교부를 제외한 나머지 구간은 PC Box 형식의 교량으로 FCM 공법과 PSM 공법으로 계획되어 있다. FCM 공법을 적요하는 구간은 500m로서 예비항로부에 가설되며 사장교부와 마찬가지로 선박통행을 위해 폭 250m, 높이 45.5m의 형하공간을 확보하고 있으며, 양측 경간은 125m로서 교량 전체가 현장타설에 의하여 가설되는 캔틸레버교이다.

PSM 공법에 의해 시공되는 잔여구간 5,820m는 시점부 접근 교량이 39경간, 2,340m이고 사장교와 FCM 공법 적용구간의 연결부가 12경간 720m, 종점부 접근 교량이 46경간 2,760m로 구성되어 있다.

<서해대교 계측항목>

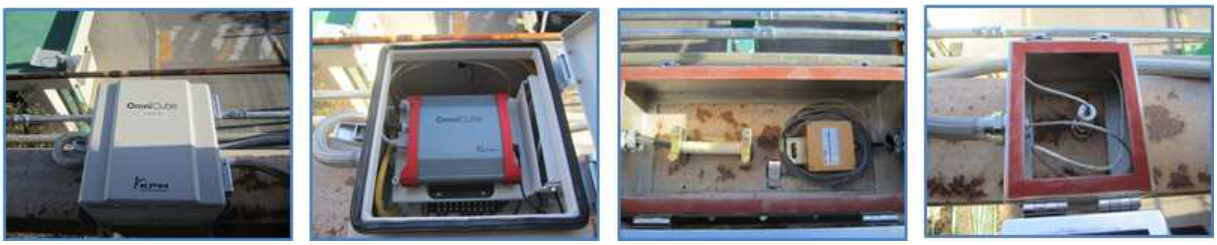
구분	획득신호	분석 후 획득자료	활용자료
주탑	경사	경사각 변화	주탑의 경사 및 진동 측정
	진동가속도	고유진동수(교축, 교축직각)	고유진동수, 진동모드의 측정
	온도	온도	온도변화에 의한 형상 변화 확인
보강형	처짐	수직, 교축직각 처짐	중앙경간 보강형의 변위
	변형률	단면 응력 변화	하중에 의한 단면 응력 분포 및 변화
	진동가속도	고유진동수	수직, 교축직각, 비틀림 동특성 확인
	신축이음변위	지점부 신축이음 변위	지점부 신축이음량 확인
	온도	온도	온도변화에 의한 영향 확인
케이블	지진가속도	행어 장력, 고유진동수	행어 케이블 도입 장력의 크기 및 변화 확인
	온도	주케이블 온도	주케이블의 온도변화 영향 확인
기초	지진가속도	지진 진동가속도	지반운동에 의한 입력 지진동측정
외부환경	풍향풍속	주탑정부, 보강형 풍향풍속	과대 풍속 발생시 교량 관리
	대기 온도	온도	교량 사용자의 안전확보

(2) 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가

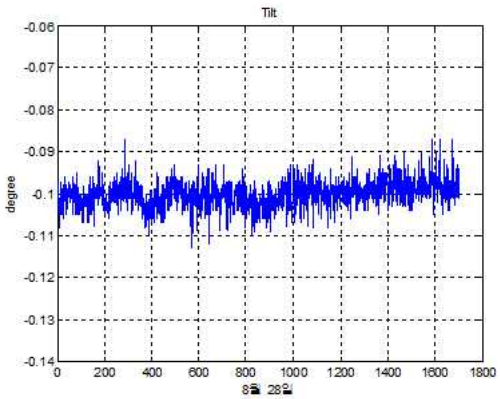
- 플랜트 현장에 데이터로거 가설치 후 플랜트 환경에서의 무선 통신 성능시험 수행
  : 여수 국가산업단지 파이프랙 및 박스컬버트 구간
  : 현장 상용전원을 활용하여 전원공급
  : 플랜트 환경용 데이터로깅시스템을 모사한 현장 테스트용 데모킷 제작 및 활용
- 무선센서노드 및 게이트웨이 간 통신 테스트 수행
  : 정적 데이터 및 동적 데이터 취득 시험
  : 동적 데이터는 초당 512개 데이터 정상 취득
- 다종의 구조물 계측 센서와 연동한 데이터 취득 시험

: 적용 센서 - 경사계, 온도계, 수위계, 가속도계, 변형률계, 풍속계

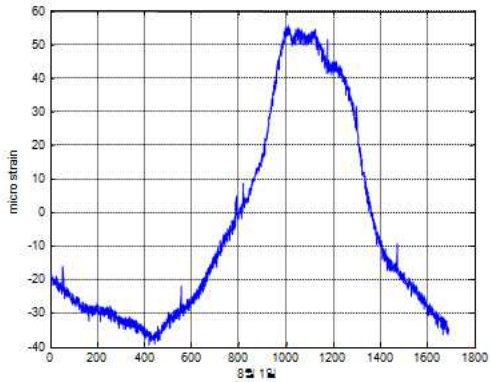




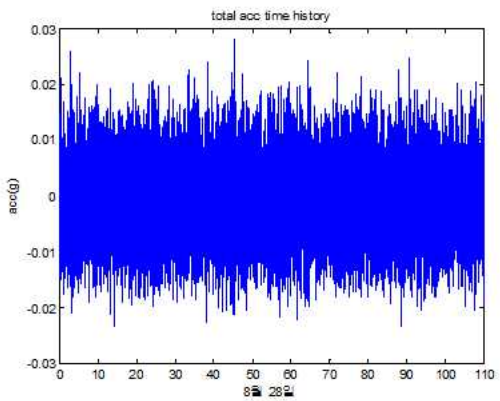
<여수 테스트베드 구축 현황>



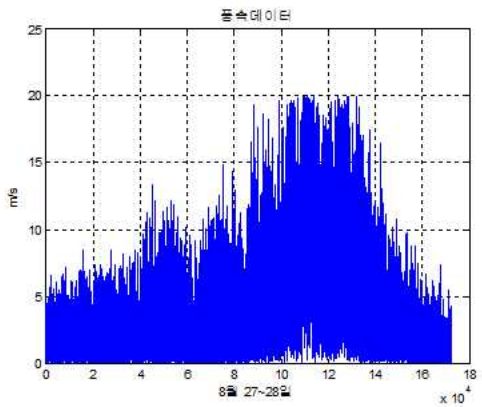
<계측데이터 예 - 경사계>



<계측데이터 예 - 변형률계>



<계측데이터 예 - 가속도계>



<계측데이터 예 - 풍속계>

2. 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 데이터로거 개발/제작

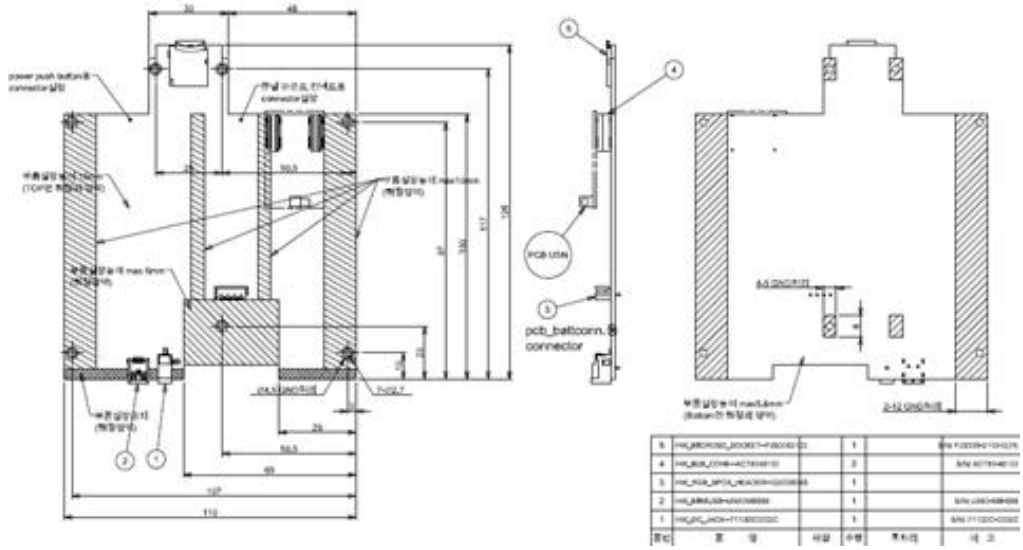
(1) ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발

○ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터 로거 개발

○ 데이터로거의 주요 구성은 무선 통신을 위한 통신부, 칩셋을 컨트롤하고 데이터를 주고받기 위한 CPU부, 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 ADC(24bit)부, 시각 동기화를 위한 RTC부, 센서의 DATA를 저장하기 위한 외부 저장 메모리부, 그리고 전원공급부로 구성

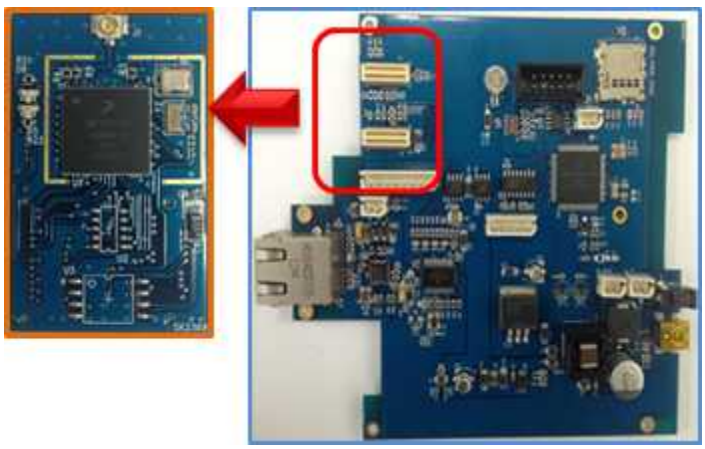
① 인터페이스 모듈 설계 및 제작

○ TCP/IP, USB, ISA 100 지원 데이터로거 회로 설계



<계측회로 설계>

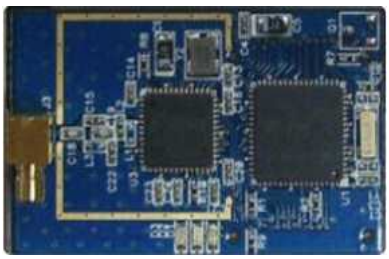
○ ISA 100.11a 통신모듈 및 계측 회로 제작

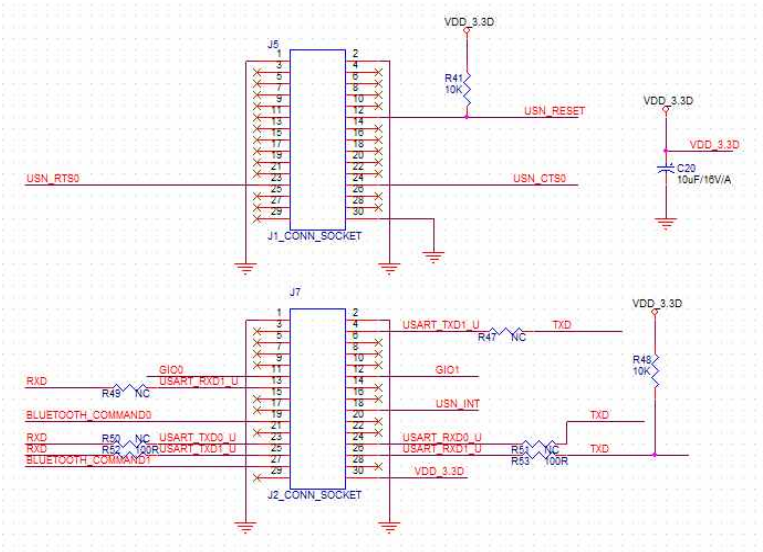


<ISA100.11a 통신모듈 및 계측회로>

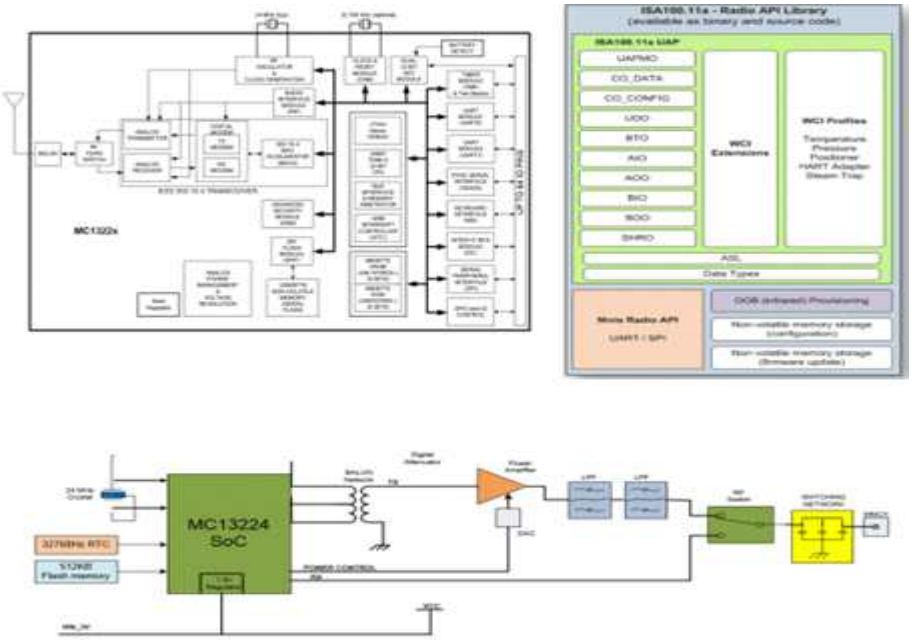
② 통신부

○ 센서 네트워크 플랫폼은 배터리를 사용하여 전원을 공급하게 되므로 낮은 동작전압을 지원하여야 하며, 장기간 사용을 위한 저전력 소모 기능도 반드시 고려하여야 할 사항임. 또한 작은 크기의 디바이스 구성을 위해 Package도 소형이어야 함.





<USN 모듈과 회로도>



<적용된 ISA100.11a RF기능 블록 다이어그램>

○ 센서에서 수집된 데이터의 전송을 위해 RF Transceiver를 사용하여 데이터 수집을 담당하는 Host로 전송하게 됨.

- IEEE 802.15.4 지원, 주파수 대역은 2.4GHz. MAC protocol 지원
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 방식
- 250 kbps의 데이터 전송속도
- 전류를 적게 소비 (RX: 22mA, TX: 29mA)
- Low supply voltage (2.1~3.6V) Integrate voltage regulator
- Low supply voltage (1.6~2.0V) external voltage regulator
- Programmable output voltage
- 외부의 RF 스위치나 필터가 필요 없음
- 외부구성이 간단
- Battery 모니터 가능.
- Digital LQI / RSSI 지원 - 수신
- 보안 AES 128-bit 하드웨어 알고리즘 내장
- Microcontroller의 저전력의 Duty cycle 작동에 의하여 RF가 shut off 됨

○ 내부에 동작 제어와 데이터의 전송을 위한 Control Block과 RF 신호 생성을 위한 VCO, FSK전송을 위한 VCO Controller, RF 송수신을 위한 LNA/PA Block 등으로 구성되어 있음.

○ 내부 Control Block에서 Coding된 데이터의 Encode/Decode 기능이 구현되고, 외부로 데이터를 전송함.

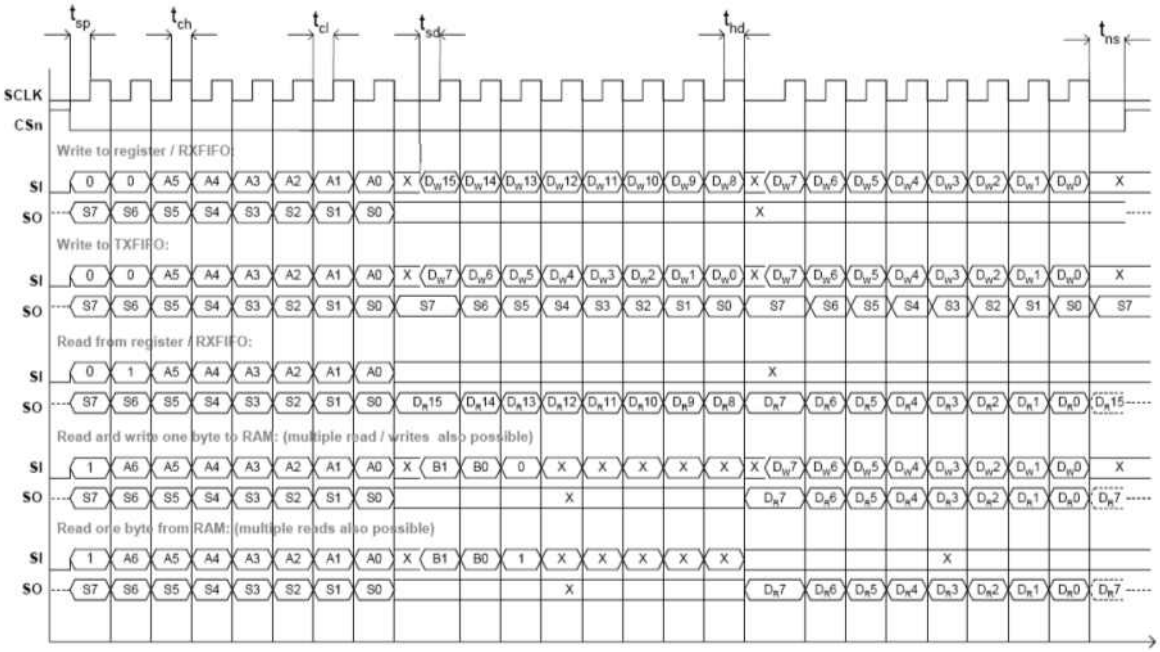
○ 내부에 Register들을 SPI Port를 통해 제어하여 데이터의 전송과 Configuration 설정을 변경하고, 이를 위해 PALE,PCLK,PDATA 신호를 GPIO 신호들과 연결하여 내부 Configuration을 설정하며, Configuration을 위한 신호의 타이밍은 다음과 같음.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Condition
Supply voltage for on-chip voltage regulator, VREG_IN pin 43.	2.1		3.6	V	
Supply voltage (VDDIO) for digital I/Os, DVDD3.3, pin 25 .	1.6		3.6	V	The digital I/O voltage (DVDD3.3 pin) must match the external interfacing circuit (e.g. microcontroller).
Supply voltage (VDD) on AVDD_VCO, DVDD1.8, etc (pin no 1, 2, 3, 4, 10, 14, 15, 17, 18, 20, 26, 35, 37, 44 and 48)	1.6	1.8	2.0	V	The typical application uses regulated 1.8 V supply generated by the on-chip voltage regulator.
Operating ambient temperature range, T_A	-40		85	°C	

<Operating Condition>

PA_LEVEL	TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
31	0xA0FF	0	17.4
27	0xA0FB	-1	16.5
23	0xA0F7	-3	15.2
19	0xA0F3	-5	13.9
15	0xA0EF	-7	12.5
11	0xA0EB	-10	11.2
7	0xA0E7	-15	9.9
3	0xA0E3	-25	8.5

<Output Power Setting and Typical Current consumption @2.45GHz >

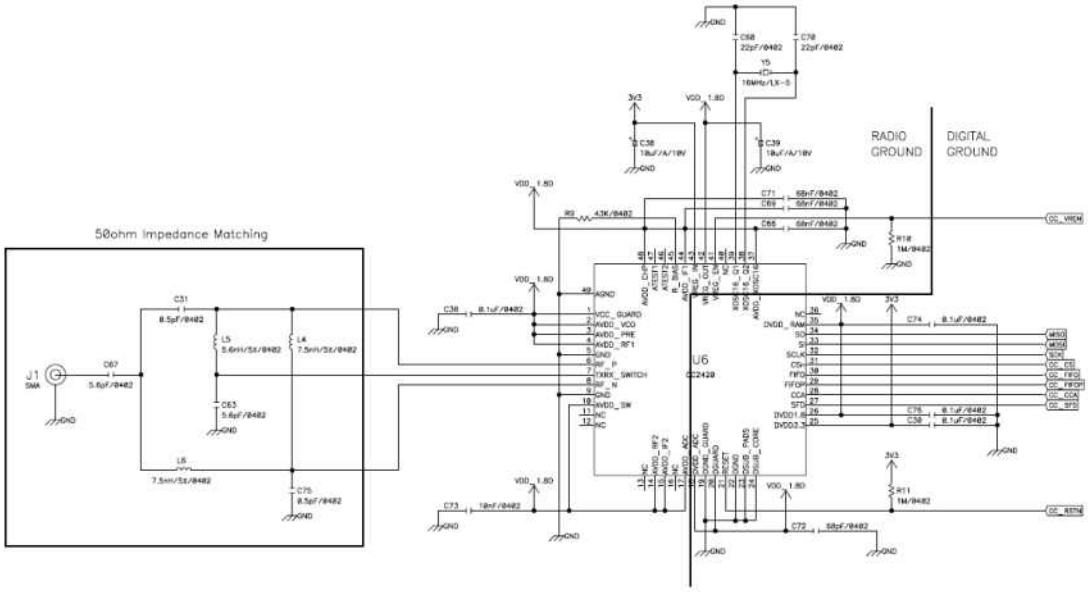


<SPI Timing Diagram>

○ 각 레지스터가 읽고 쓰는 사이클일 때, 24비트가 SI line에 보내진다. CSn pin (Chip Select, active low)은 전송되는 동안 low 상태를 유지해야 한다. 첫 번째 보내진 비트는 RAM/Register 비트 (register 액세스를 위해 0을 전송), 다음에 R/W 비트 (0은 쓰기 상태, 1은 읽기 상태). 다음 6 비트는 address-bit (A5:0). 16 data-bit가 전송된다. (D15:0). register access byte, command strobes, first RAM address byte, 그리고 data transfer가 TXFIFO로 전송되는 동안, CC2420 status byte는 SO pin에 리턴 됨.

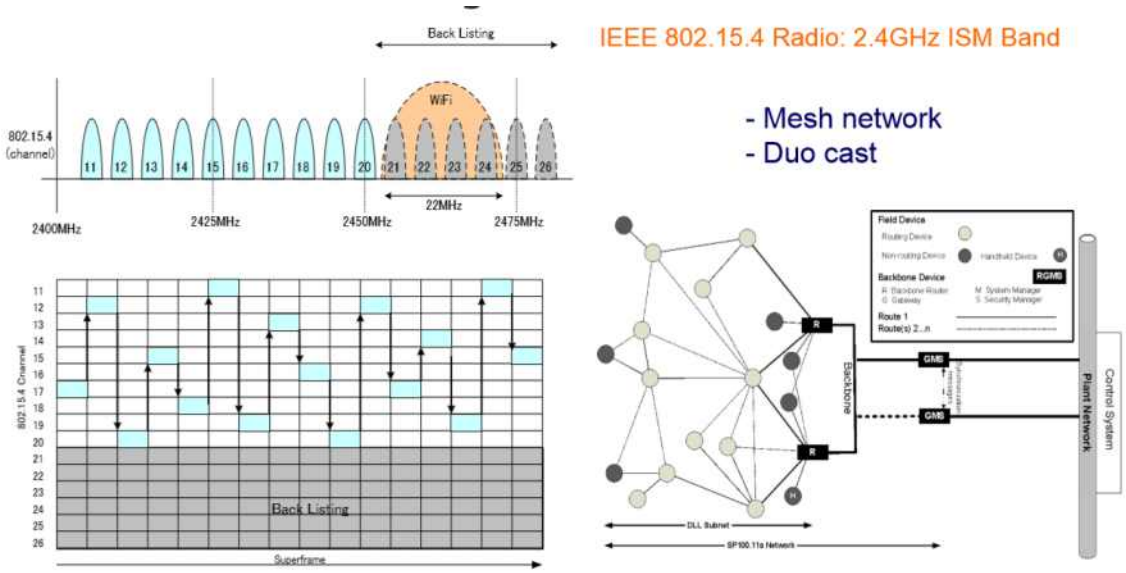
○ 아래 그림은 RF 무선 통신 모듈의 메인 회로도임. 기준 전압은 3V로 설계하였으며 Microcontroller를 통해 제어. 다만 일반적으로 RF 통신모듈에서는 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) Data를 직접 보낼 경우 거리에 따라 Error 율이 급속히 증가하므로 Manchestor나 NRZ(Non-Return -Zero)와 같은 형태의 코드로 변환

하여 전송. 이때, 데이터 손실을 최소화하기 위해 수십 바이트의 Software FIFO 등을 사용하며, 초단에 Null Data를 보내고 User Data를 보낼 수 있도록 설계함으로써 데이터의 정확도를 높여줄 수 있음. 이를 통해서 최상의 BER(Bit Error Ratio)를 만들 수 있고, 특히 One-Chip Solution에서는 Rx Sensitivity가 많이 떨어지기 때문에 원거리 통신을 위해 안테나 설계도 매우 중요. 본 RF 통신 모듈에서는 안테나 설계를 통해 50 Ω으로 매칭된 Monopole 안테나를 사용하도록 설계되었으며 필요에 따라 LC filter를 추가할 수 있음.



<RF 통신 모듈 회로도>

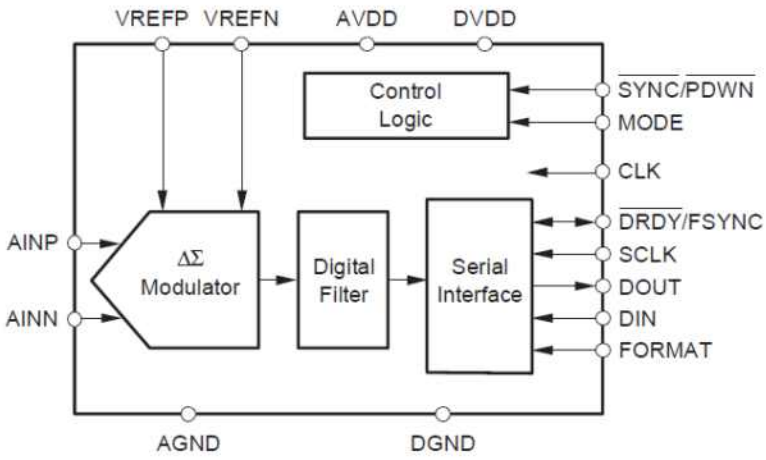
○ 다은 주변 근거리 통신망과 같은 2.4Ghz주파수 대역을 사용함으로써 주파수간섭 문제가 발생할 수 있는 있는 점을 주파수 호핑 방식을 사용함으로써 주파수 간섭 문제를 해결 하였다.



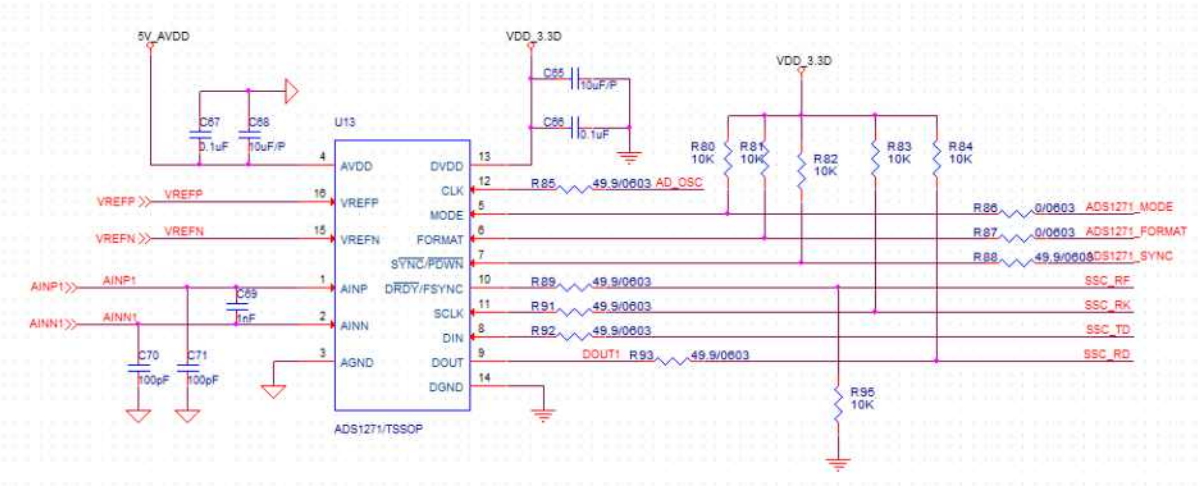
ISA100.11a Architecture / Channel Hopping to avoid Radio interference

③ ADC 부(24bit)

- 24bit Wide Bandwidth Analog-to-Digital Converter IC를 사용하여 기존 16bit ADC보다 센서 입력 신호에 대한 분해능이 256배 향상 됨.
- ADC Data Converter Rate는 105kSPS로 고속 가속도 측정을 위한 최상의 샘플링을 가졌음.
- AC Perfomance는 51kHz Bandwidth와 109dB SNR이며, DC Accuracy는 1.8uV/℃ Offset Drift, 2ppm/℃ Gain Drift 임.



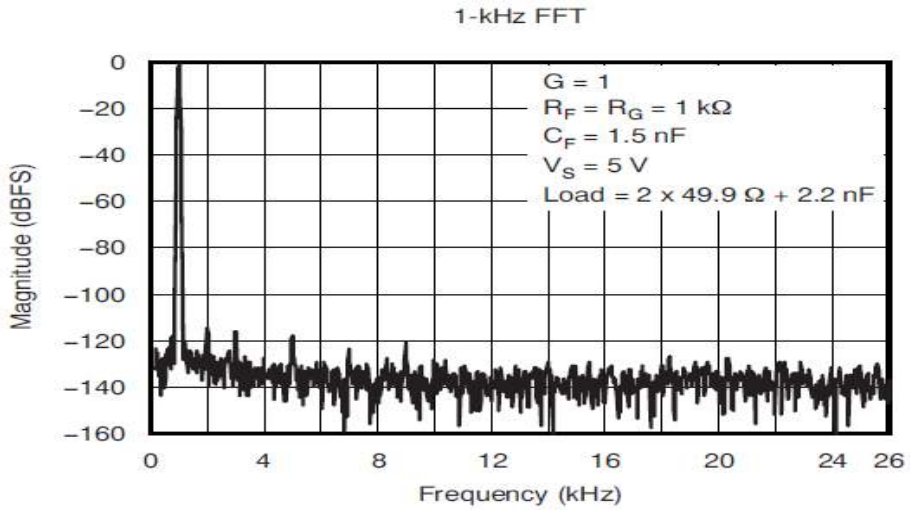
<24bit ADC Block Diagram>



<24bit ADC 회로도>

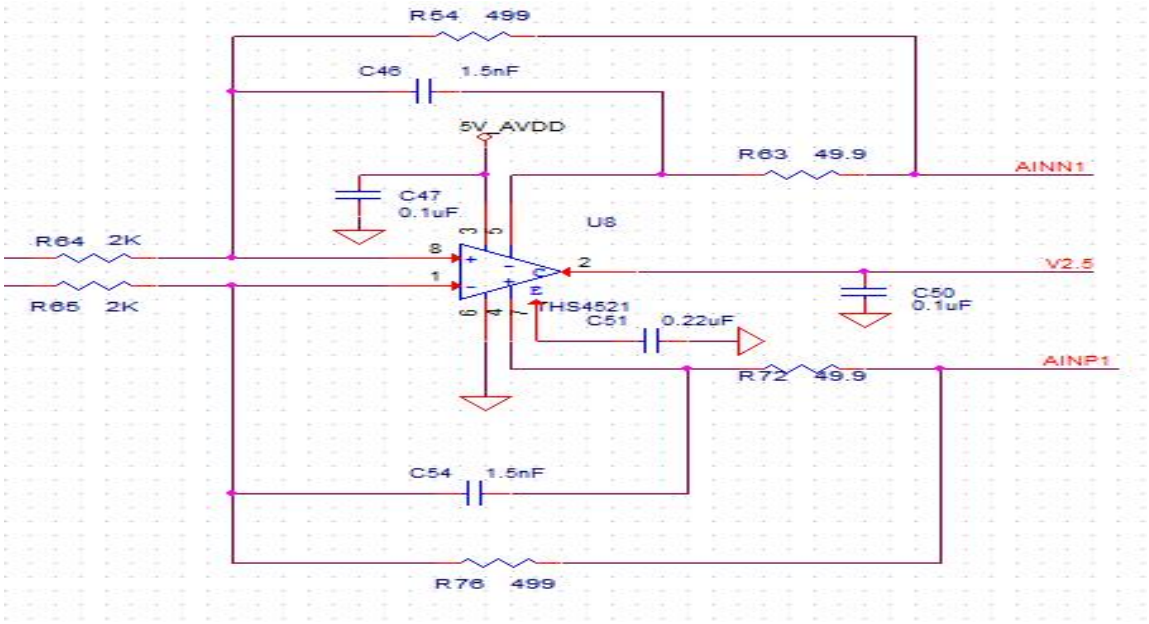
④ 증폭부

○ Fully Differential Amplifier를 사용하여 데이터 측정시 노이즈 성분 제거와 Low-Power Differential Signal Conditioning 회로를 구성하여 배터리 사용전력을 최소화하였음.



Tone (Hz)	Signal (dBFS)	SNR (dBc)	THD (dBc)	SINAD (dBc)	SFDR (dBc)
1 k	–0.50	109.1	–107.9	105.5	113.7

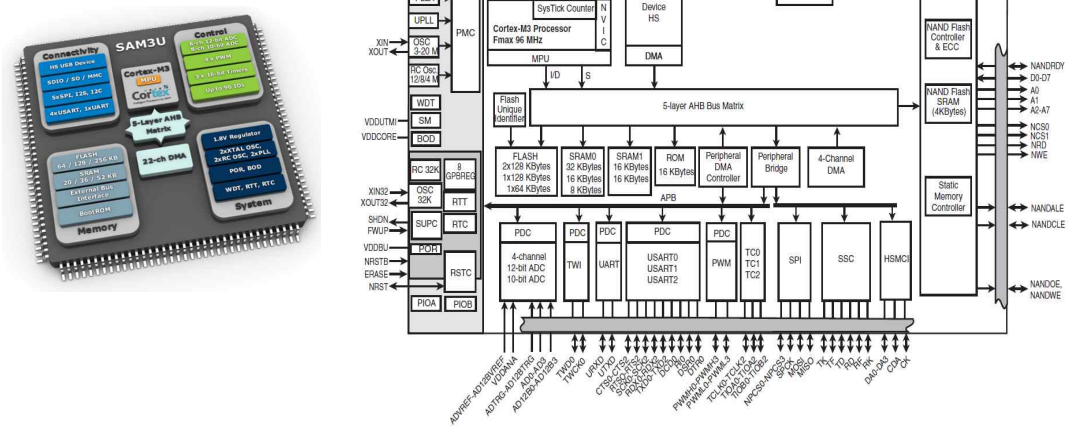
<Amplifier 특성도>



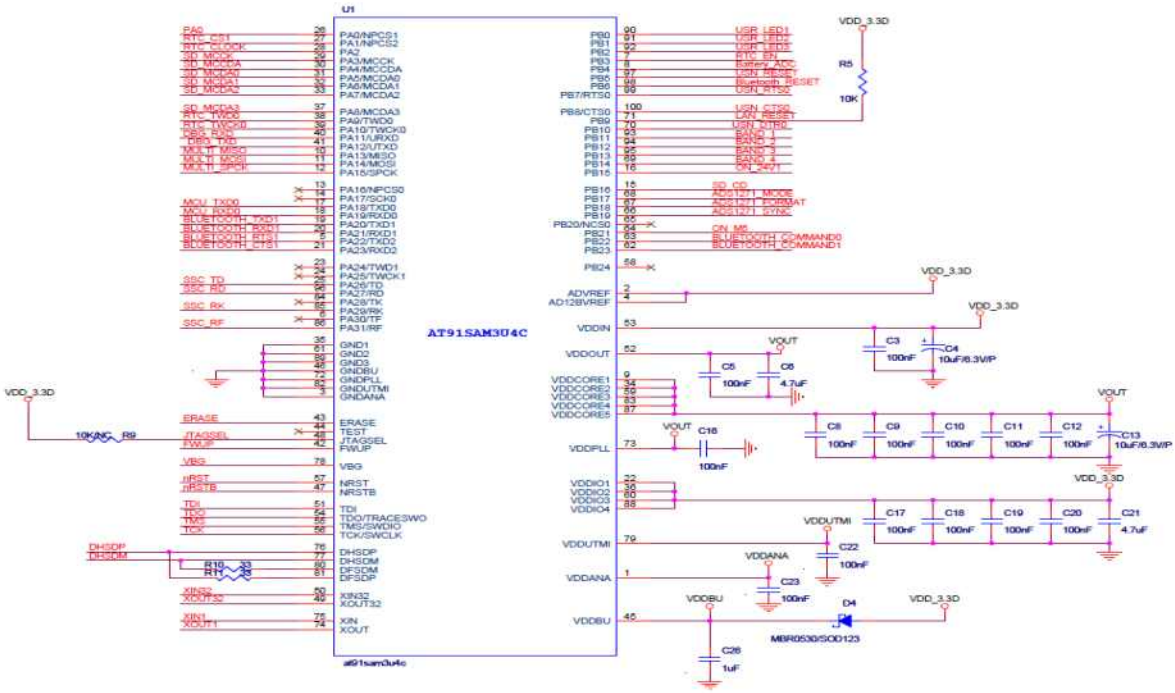
<증폭부 회로도>

⑤ CPU부

○ CPU는 최신의 32bit ARM Cortex-M3를 사용하여 고속의 가속도 측정 및 Data 저장을 동시에 가능하며, 96Mhz Maximum Operating Frequency and High Data-bandwidth architectre based on a 5-layer bus matrix with 22DMA channels를 이용하여 Data 전송 시 문제가 발생할 수 있는 Data 병목 현상을 최소로 할 수 있도록 설계하였음.



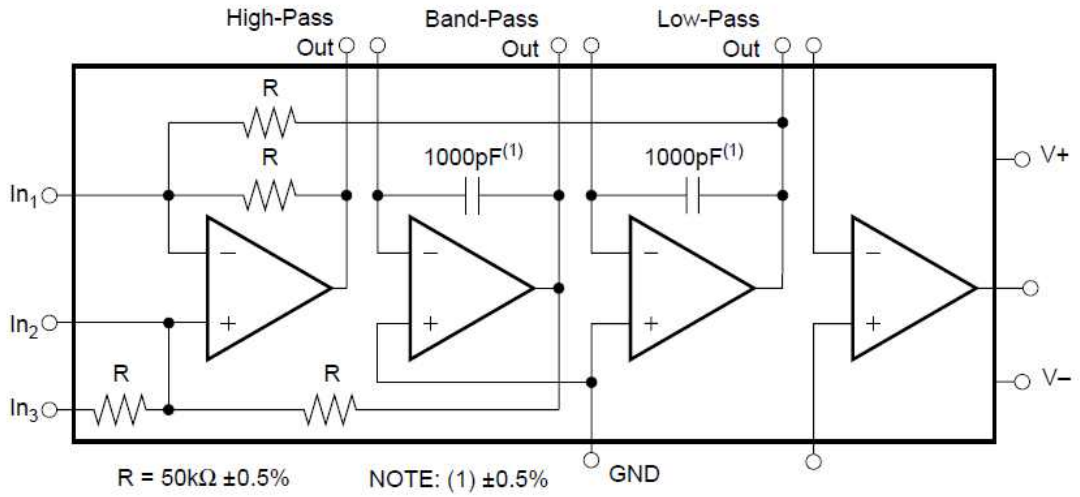
<CPU H/W Block Diagram>



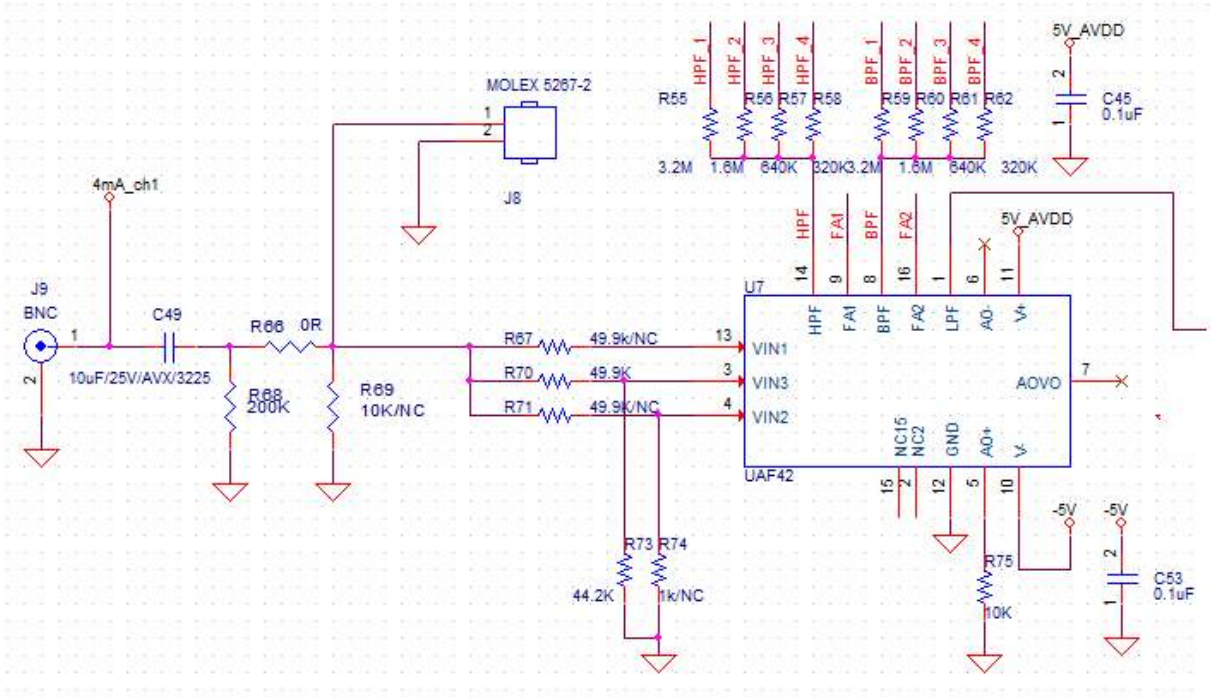
<CPU부 회로도>

⑥ Filter 부

○ Universal Active Filter를 사용하여 측정하고자 하는 신호에 대한 정확한 값을 얻기 위해 Filter를 가변 함으로써 불필요한 신호를 제거할 수 있음.



<Filter 회로설계도>



<Filter부 회로도>

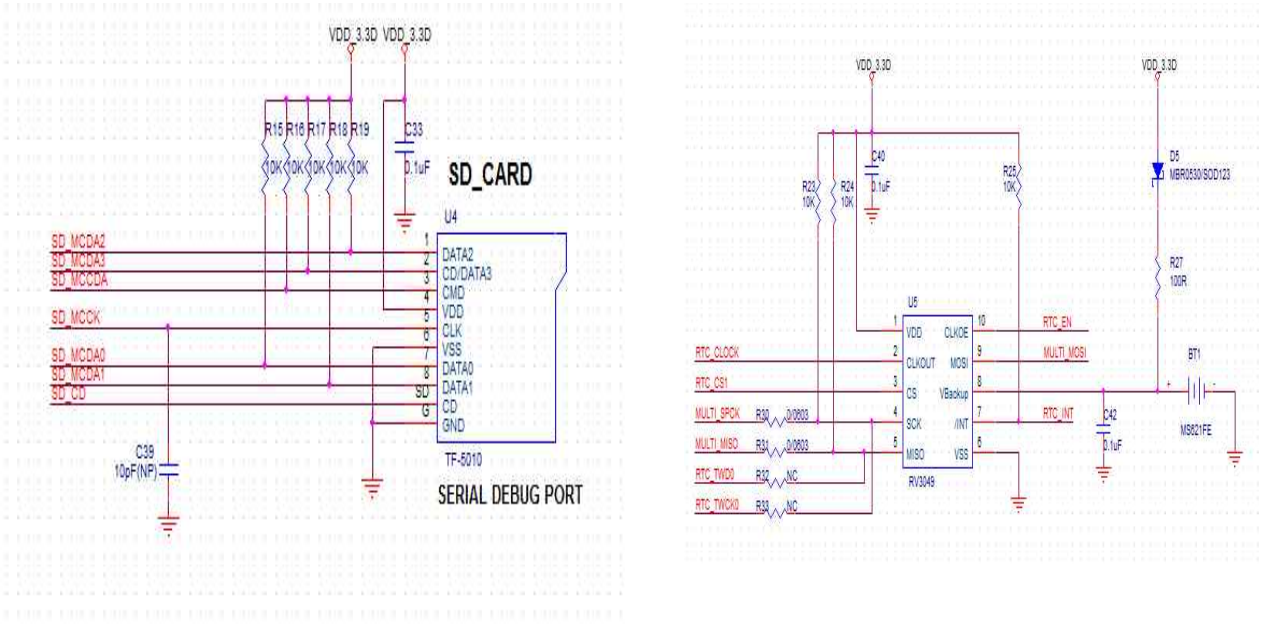
⑦ RTC 및 저장장치(SD CARD)부

○ 정밀 RTC(Real Time Clock) IC를 사용하여 센서 Data 측정 시 측정 시점의 시간과 Data를 함께 전송함으로써 전송 시 발생할 시간 Delay를 제거함으로써 다른 센서와 동시 분석 시 동기화 문제를 해결하였음.



<RTC IC 온도에 대한 시간 Delay 특성>

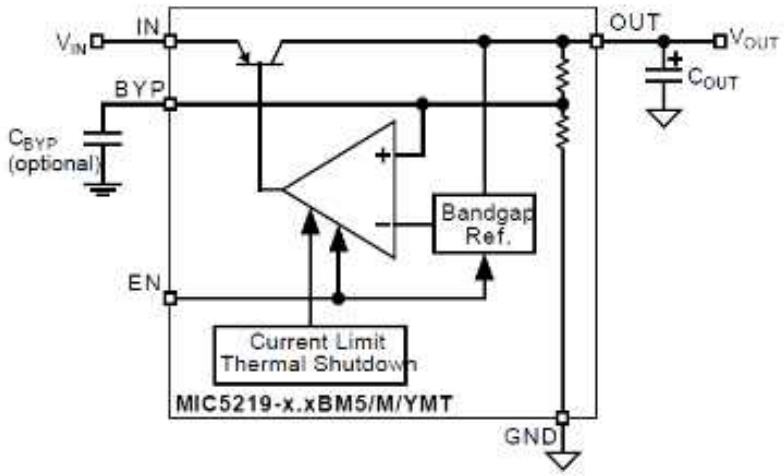
○ 센서 Data Back up을 위한 외부저장메모리(SD CARD)를 설계 적용하였음. 외부저장 메모리는 차량에 탑재한 Gateway가 100m 반경에 위치할 경우 데이터를 전송하고 변경 내에 위치하지 않을 경우 측정 데이터를 외부 저장 메모리에 자동 저장 기능을 포함함.



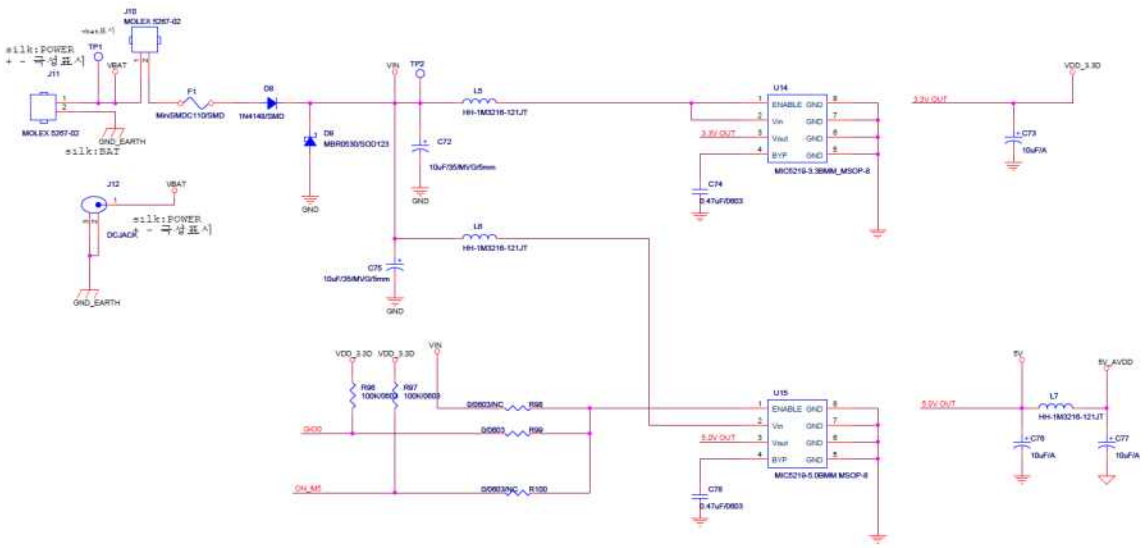
<외부저장(SD CARD)부 회로도>

⑧ 전원부

○ 배터리를 사용하는 무선 제품으로써 전력을 효율적으로 사용하기 LDO Regulator를 사용 또한 센서에 계측에 영향을 최소로 하기위해 Ultra-low-noise output를 적용하였음.



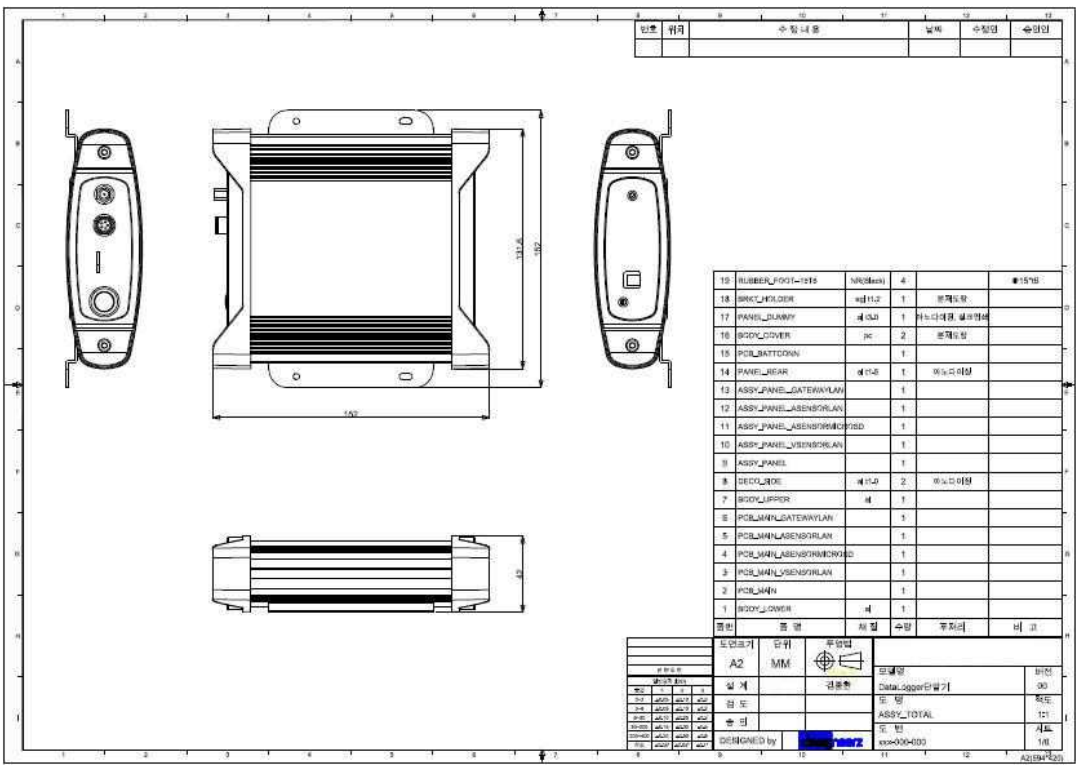
<Ultra-Low-Noise Fixed Regulator>



<전원부 회로도>

⑨ 케이스

○ 케이스는 현장 적용성 및 디자인을 고려하여 설계 및 제작하였음.

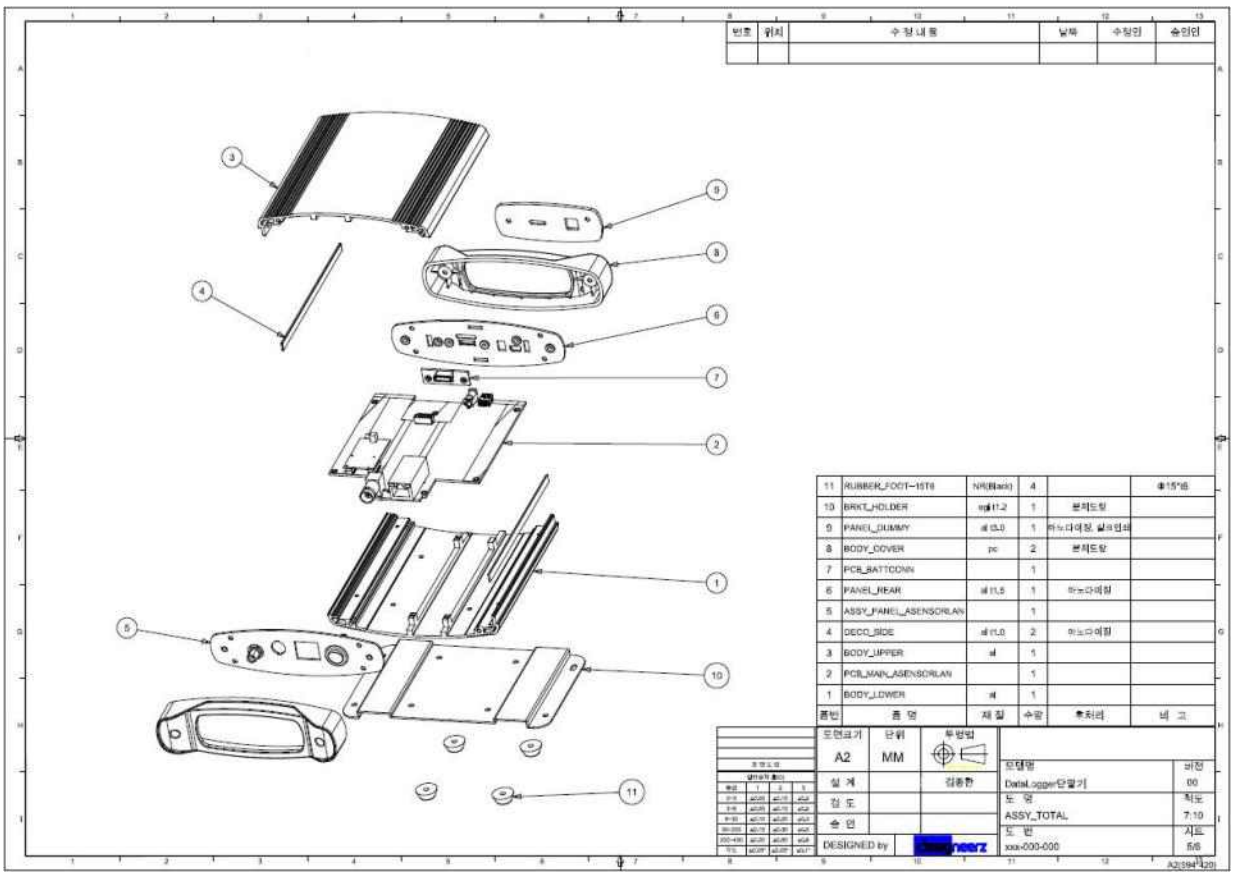


<케이스 기구설계 도면>



<케이스 설계 이미지>

⑩ 시작품 제작



<데이터 로거 기구설계 도면>



<데이터 로거 시작품>

- 시작품 사양

항목	내용
Measuring channel	1-channel
Measuring range	±5V
Current consumption	150mA ~ 190mA
Power supply	9 ~ 12V
ADC resolution	고속 ADC 24bit (50Khz)
Sampling rate	100, 200, 128, 256, 512, 1024Hz
Low Pass Filter	100, 500, 1KHz, 2KHz
Communication	ISA100
Interface	TCP/IP, UDP, USB
SD CARD	Micro SD(FAT 32 지원)
RTC	정밀 RTC 내장(3ppm ~ 8ppm)
Size(mm)	130*125*38
Operation Temperature	-30℃ ~ 80℃

⑪ 통신 프로토콜

○ 기본적인 통신 구조는 위의 그림 과 같이 구성이 되며 System의 양단에 USN

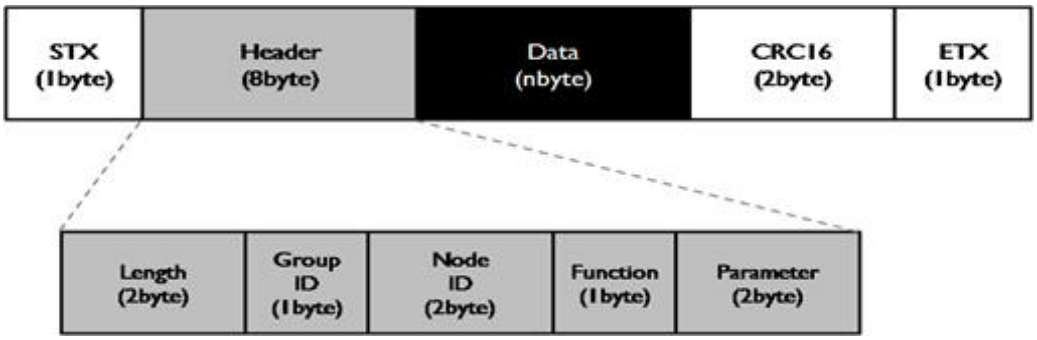
Device를 이용하여 통신을 수행함.

○ Sensor Board에는 명령 Packet을 수신하고 Data를 전송할 수 있도록 USN Module이 장착되며 PC 측에는 System을 구성하는 모든 Node를 제어하고 Data를 수신할 수 있도록 GATEWAY를 Ethernet으로 연결함.

○ USN 통신은 기본적으로 Node 단에서 Gateway를 자동 연결되도록 구성되어 있으며 각각의 Link들은 모두 독립된 통신 채널을 통해 Gateway에서 PC로 Data를 전송함.

○ 기본 구조(USN 노드)

- 모든 Protocol은 아래의 구조를 따르며, Packet에는 STX(02H)와 ETX(03H)를 붙여 시작과 끝을 구분하며 길이는 총 12+n byte임. Packet의 Data 부분이 가변적이기 때문에 STX 다음에는 Length 필드를 넣어 Packet의 전체 길이를 알려줌.
- Group ID는 다수의 Node로 System이 구성된 경우 효율적인 관리를 목적으로 사용한다. 만약 한 System에서 여러 개의 Base를 사용하게 되면 Base마다 Group ID는 달라야함.
- Node ID는 Node의 주소이자 고유 ID임. PC(Base) to Node(Sensor board)의 경우는 Node ID에 Packet의 목적지가 들어간다. 만약 모든 Node에게 명령을 보내는 경우(Broadcasting)라면, 그 자리에 FFFF가 들어감. 반대로 Node(Sensor board) to PC(Base)의 경우에는 자신의 Node ID를 넣음.
- Function과 Parameter로 Packet의 의미와 종류를 구분하며 Data의 유무는 System 구성에 따라 다르고 그 길이도 일정치 않음.
- Packet의 항목 중 2 byte 이상으로 구성된 단일 항목의 Data는 Little Endian 방식을 따름.



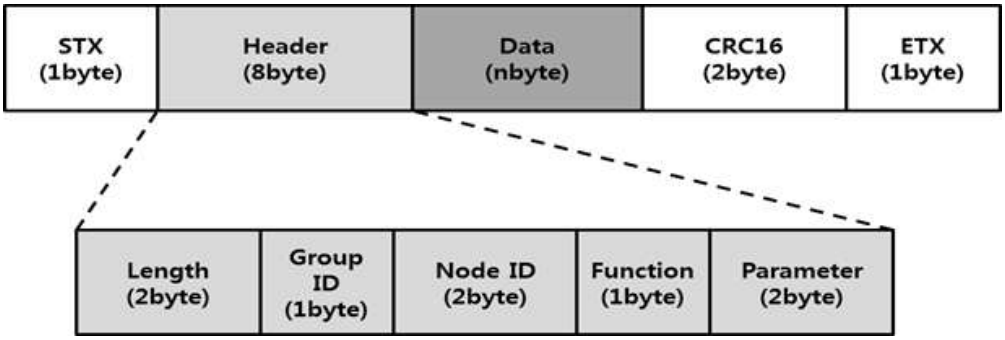
<Packet 기본 구조도>

※ Length = GroupID~ETX (9+n) byte

※ CRC16: STX~Data까지 계산한다.

○ 제어 구조

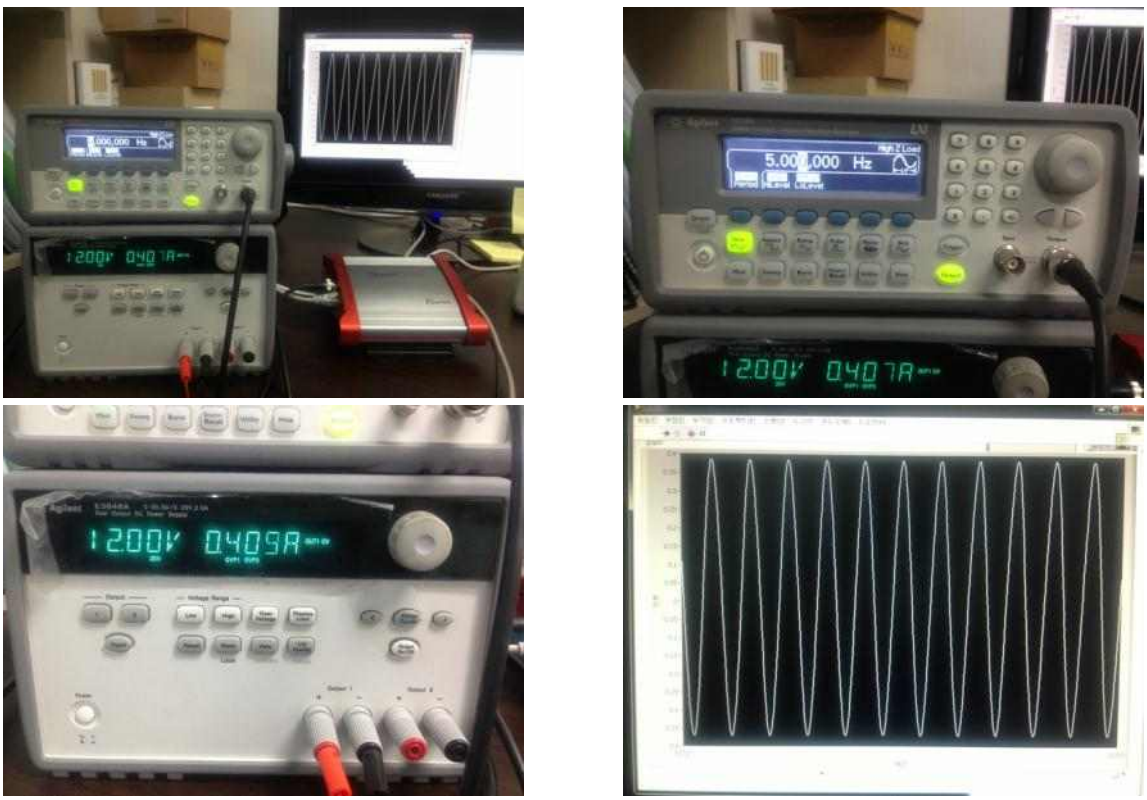
- PC에서 송신 되는 Data Packet은 시간정보가 빠지고 제어구조에 따른 정보가 전달.



<제어 Date Packet>

⑫ 시제품 검증

○ 제작되어진 시제품에 함수발생기를 연결하여, 계측 성능 및 무선통신 성능에 대해서 자체 검증을 실시한 결과, 개발목표에 부합하는 성능을 확인할 수 있었다.



<데이터로거 성능 테스트 - 실내 시험>





<자체 성능 시험 보고서>

1. Calibration

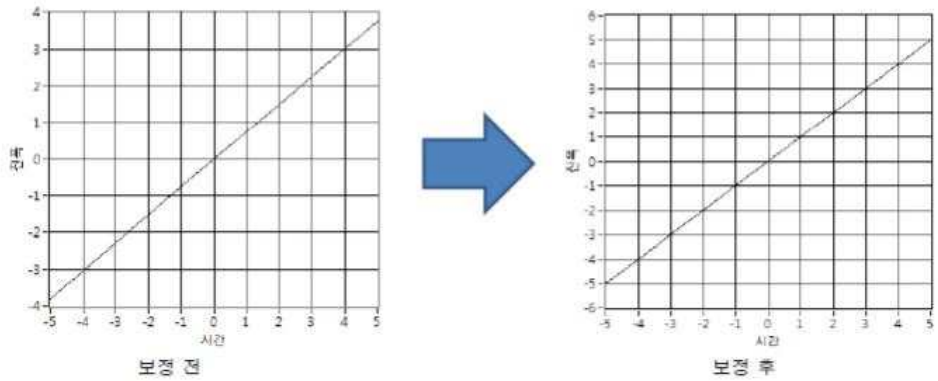
1. 계측 조건 : Filter 500hz, Sampling Rate 1024, Input Freq. 10Hz
2. 입력 전압 : ±1V, ±2V, ±3V, ±4V, ±5V

계측 값

입력전압	5	4	3	2	1	-1	-2	-3	-4	-5
계측전압	3.7857034710	3.0276182310	2.2700357130	1.5127352850	0.7547986860	-0.7605537342	-1.5185518780	-2.2758813320	-3.0333413090	-3.7911857620

보정 계수

	상수	1차	2차	3차
계수	0.00386667498	1.31988087444	-0.00001402925	0.00000223442

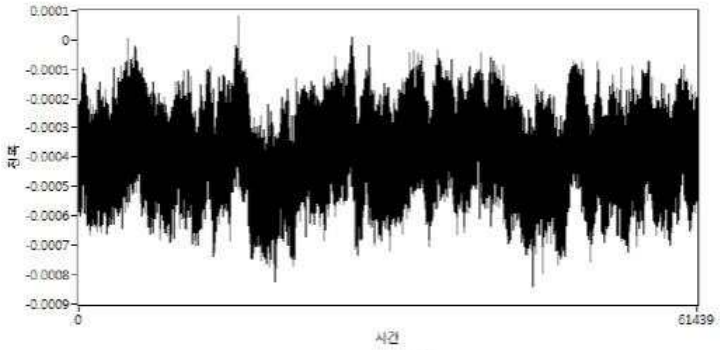


<데이터로거 캘리브레이션>

2. Ripple

1. 조건 : Sampling Rate 1024, Input Pin과 GND Pin 연결
2. Filter : 50Hz, 100Hz, 250Hz, 500Hz

Filter	Ripple(mV)	최대(mV)	최소(mV)	평균(mV)	표준편차(mV)
50	1.2492260	-0.9036070	-2.1528320	-1.5212310	0.1792120
100	1.1186440	-0.5779180	-1.6965610	-1.1718250	0.1585370
250	0.9345570	-0.1861590	-1.1207150	-0.6399930	0.1130650
500	0.9219790	0.0828844	-0.8390950	-0.3907680	0.1041440



Filter 500Hz 파형

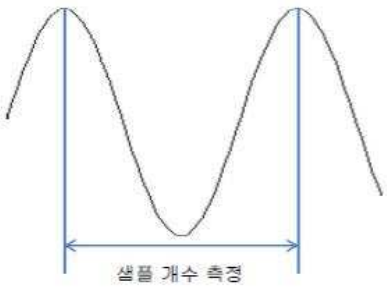
<리플 테스트>

3. Sampling Rate

1. 조건 : Filter 500hz, Input Freq. 10Hz
2. Sampling Rate : 128, 257, 512, 1024

Sampling Rate	피크 수	밸리 수	FFT(Hz)
128	6000	6000	10.0000000000
256	6000	6000	10.0000000000
512	6000	6000	10.0000000000
1024	6000	6000	10.0000000000

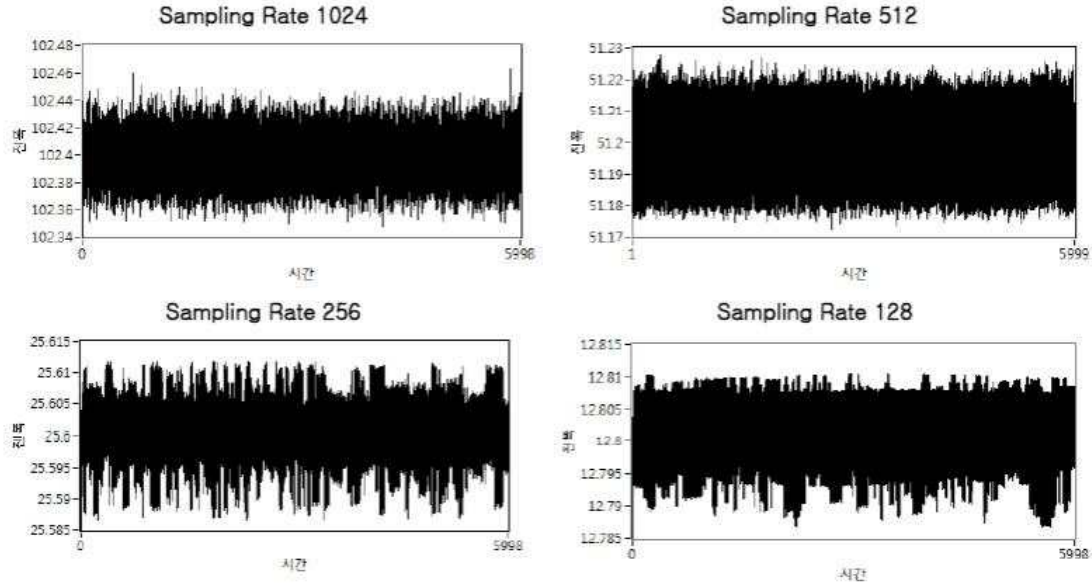
3. 측정 방법
   1. 피크와 피크 사이의 샘플 거리 측정



<데이터로거 성능 테스트 - Sampling Frequency>

3. Sampling Rate

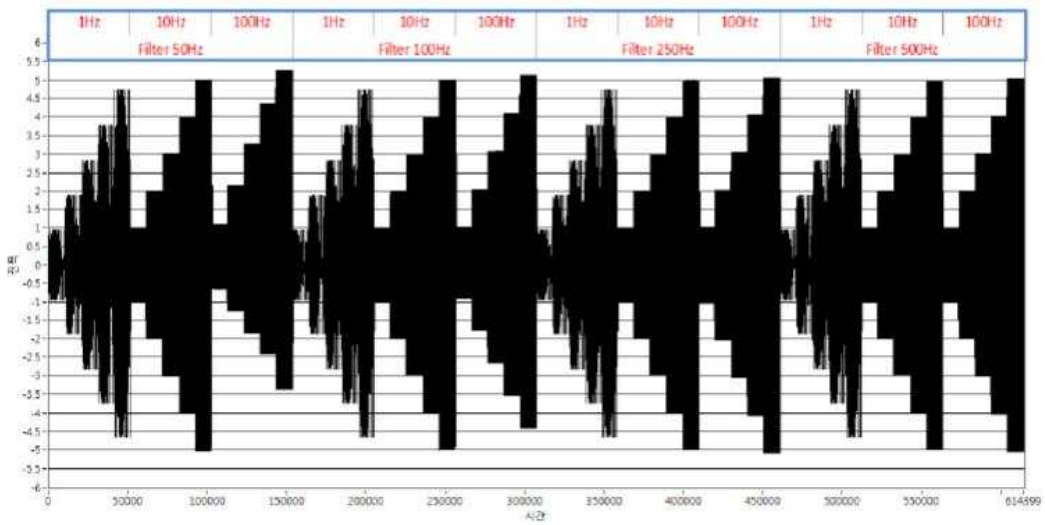
1. 10Hz Sin파를 입력으로 하여 피크간의 거리가 Sampling Rate의 1/100이다.



<데이터로거 성능 테스트 - Sampling Frequency>

4. ADC Calibration 결과

1. 보정식 조건 : Filter 500hz, Sampling Rate 1024, Input Freq. 10Hz



<데이터로거 성능 테스트 - ADC 캘리브레이션>

4. ADC Calibration 결과

1. Filter 500hz, Sampling Rate 1024, Input Freq. 10Hz

계측전압
입력전압-계측저압

Filter	Input Freq.	Input Voltage									
		5	4	3	2	1	-1	-2	-3	-4	-5
50	1Hz	4.7363112821	3.7845063575	2.8325861234	1.8835713586	0.9375838773	-0.9378301972	-1.8735338704	-2.8040756615	-3.7289489299	-4.6466403053
		0.2636887179	0.2154936425	0.1674138766	0.1164286414	0.0624161227	-0.0621698028	-0.1264661296	-0.1959243385	-0.2710510701	-0.3533596947
	10Hz	5.0181192836	4.0134706218	3.0092064651	2.0052766806	1.0012294300	-1.0016105082	-2.0048146187	-3.0069940479	-4.0096990061	-5.0144137316
		-0.0181192836	-0.0134706218	-0.0092064651	-0.0052766806	-0.0012294300	0.0016105082	0.0048146187	0.0069940479	0.0096990061	0.0144137316
	100Hz	5.3982869765	4.5129194661	3.3894620486	2.2503001082	1.1132100761	-0.6592896117	-1.2939958242	-1.9330050085	-2.5142443786	-3.4583986745
		-0.3982869765	-0.5129194661	-0.3894620486	-0.2503001082	-0.1132100761	-0.3407103883	-0.7060041758	-1.0669949915	-1.4857556214	-1.5416013255
100	1Hz	4.7341366815	3.7833667114	2.8324455081	1.8833360314	0.9375022957	-0.9371288261	-1.8724768972	-2.8025100726	-3.7268934689	-4.6441519701
		0.2658633185	0.2166332886	0.1675544919	0.1166639686	0.0624977043	-0.0628711739	-0.1275231028	-0.1974899274	-0.2731065311	-0.3558480299
	10Hz	5.0083401589	4.0057110272	3.0038117587	2.0022678630	1.0004156157	-1.0008406922	-2.0013383025	-3.0006173068	-4.0006849865	-5.0011222373
		-0.0083401589	-0.0057110272	-0.0038117587	-0.0022678630	-0.0004156157	0.0008406922	0.0013383025	0.0006173068	0.0006849865	0.0011222373
	100Hz	5.1433007452	4.1099100217	3.0763176431	2.0443198194	1.0220889830	-0.9118126284	-1.8145152291	-2.7150517689	-3.6149299510	-4.5195254521
		-0.1433007452	-0.1099100217	-0.0763176431	-0.0443198194	-0.0220889830	-0.0881873716	-0.1854847709	-0.2849482311	-0.3850700490	-0.4804745479
250	1Hz	4.7337965854	3.7833192729	2.8323307173	1.8836211018	0.9381737945	-0.9363235904	-1.8713550525	-2.8012215505	-3.7258581833	-4.6426427018
		0.2662034146	0.2166807271	0.1676692827	0.1163788982	0.0618262055	-0.0636764096	-0.1286449475	-0.1987784495	-0.2741418167	-0.3573572982
	10Hz	5.0016162553	4.0006470500	3.0003681300	2.0005787047	0.9999241234	-1.0003239087	-2.0006974673	-3.0002501595	-3.9999376279	-4.9999036005
		-0.0016162553	-0.0006470500	-0.0003681300	-0.0005787047	0.0000758766	0.0003239087	0.0006974673	0.0002501595	-0.0000623721	-0.0000963995
	100Hz	5.0752269235	4.0600778934	3.0457015111	2.0313735635	1.0160783165	-1.0202762553	-2.0389047756	-3.0551394377	-4.0700639545	-5.0849826380
		-0.0752269235	-0.0600778934	-0.0457015111	-0.0313735635	-0.0160783165	0.0202762553	0.0389047756	0.0551394377	0.0700639545	0.0849826380
500	1Hz	4.7321403613	3.7818385450	2.8318186364	1.8836379198	0.9383830246	-0.9357132789	-1.8702898435	-2.7998273607	-3.7233429998	-4.6400049214
		0.2678596387	0.2181614550	0.1681813636	0.1163620802	0.0616169754	-0.0642867211	-0.1297101565	-0.2001726393	-0.2766570002	-0.3599950786
	10Hz	5.0001905443	3.9996765922	2.9998332497	2.0003634922	1.0000495879	-0.9999278538	-2.0003716186	-2.9999606654	-3.9997556598	-5.0000976683
		-0.0001905443	0.0003234078	0.0001667503	-0.0003634922	-0.0000495879	-0.0000721462	0.0003716186	-0.0000393346	-0.0002443402	0.0000976683
	100Hz	5.0391352918	4.0307542013	3.0229595508	2.0157157787	1.0076417016	-1.0075901731	-2.0142836866	-3.0201109632	-4.0260791674	-5.0325597377
		-0.0391352918	-0.0307542013	-0.0229595508	-0.0157157787	-0.0076417016	0.0075901731	0.0142836866	0.0201109632	0.0260791674	0.0325597377

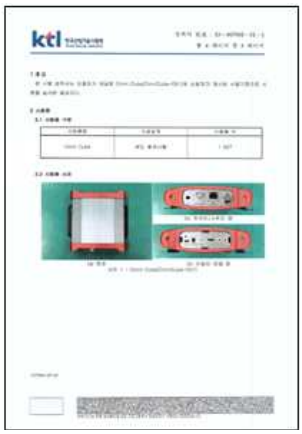
필터에 따라 사용 가능한 신호 주파수

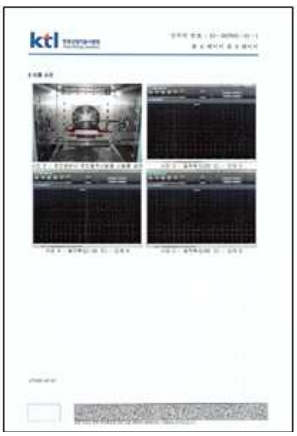
<데이터로거 성능 테스트 - ADC 캘리브레이션>

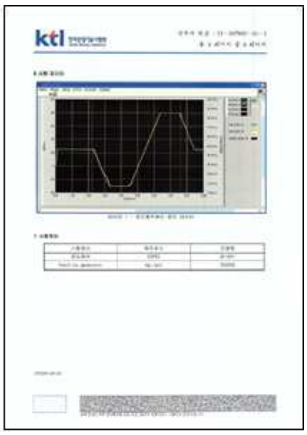
⑬ 내환경성 공인인증 시험성적서 발행

○ 제작되어진 시제품의 내환경성을 검증하기 위하여 공인인증기관인 한국산업기술시험원에 의뢰하여 공인 인증시험 성적서를 획득하였다.





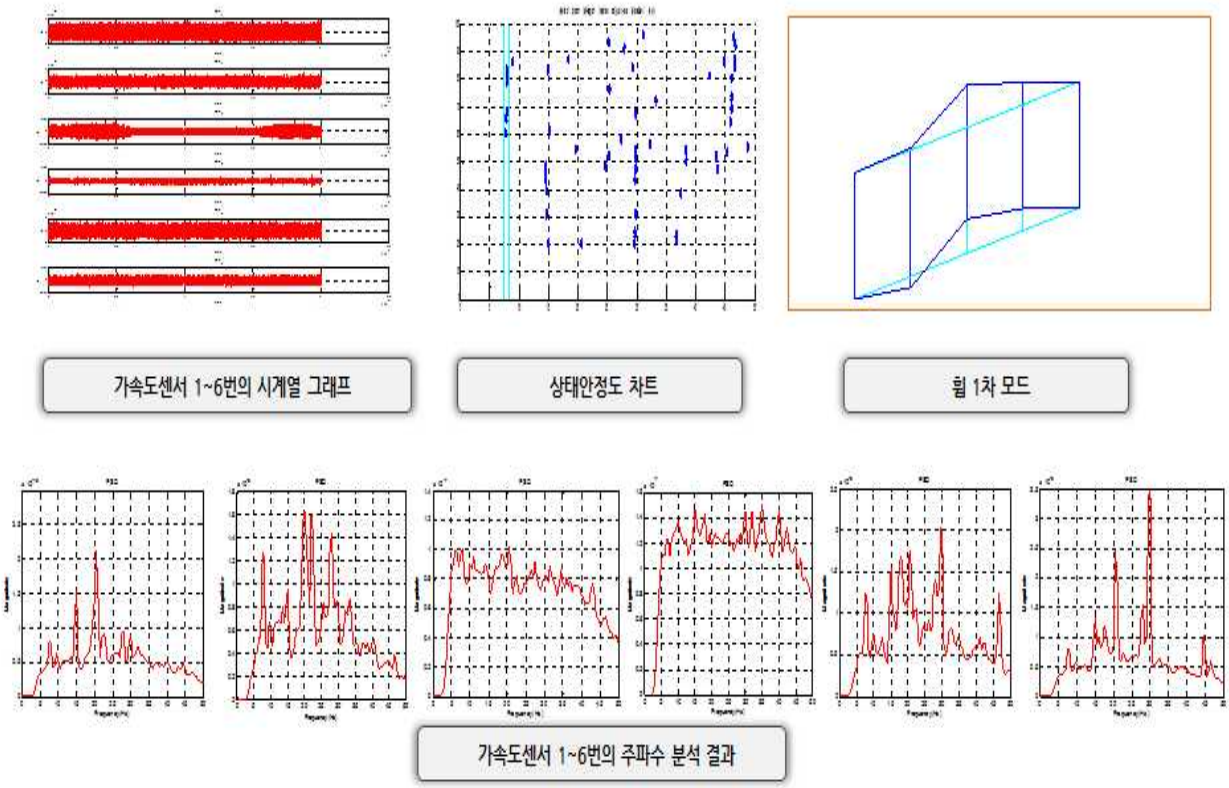




<내환경성에 대한 KTL공인 시험성적서>

⑭ 여수설치 테스트베드 시스템의 데이터확보 및 계측성능 분석

○ 주관기관이 여수에 설치한 테스트베드 시스템의 계측데이터를 확보하여 다양한 방법의 데이터 분석을 진행하였다. 성능을 분석하기 위하여 동적센서인 가속도센서 6개의 데이터에 대해서 주파수분석 및 상태안정도 차트를 분석하였다.

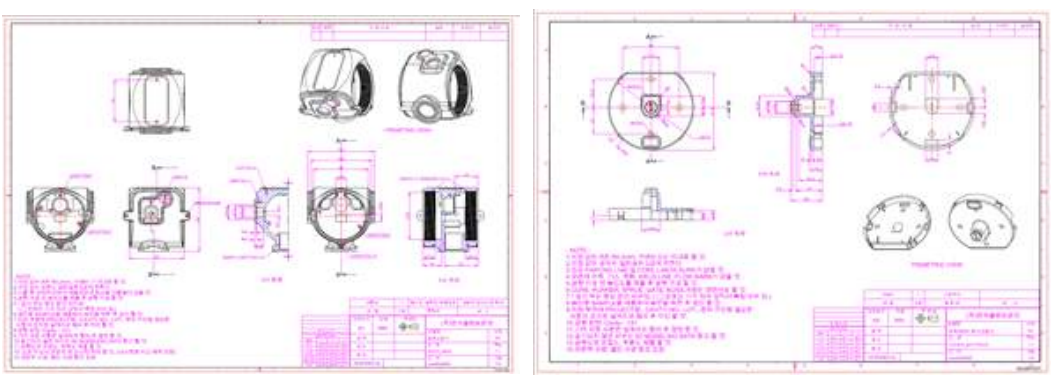


<여수 테스트베드 시스템의 계측 데이터 분석>

(2) 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 설계

○ 가스, 석유화학, 원자력 구조물에 설치하기 위해서는 최소한의 방폭규정을 만족하여야 한다. 2차년도에 방폭인증을 만족하는 케이스 금형 설계 및 양산을 하기 이전에, 설계, 샘플 목업 제작을 진행하였다.

○ 플랜트시설물의 안전감독기관인 한국가스안전공사와의 협의를 통하여 방폭인증을 획득할 수 있도록 제작사항을 협의 완료하였다.



<방폭케이스 설계 도면>

하기와 같이 금일 진행되었던 방폭인증 관련 협의 내용을 송부해 드립니다.
많은 도움 주신 것 다시 한 번 감사 드립니다.

상세한 내용은 하기를 참고 하시기 바랍니다.

---------- 하 기 ----------

1.회의명 : 방폭데이터 로거 인증 협의
2.장 소 : KGS 회의실
3.시 간 : 16시 40분 ~ 17시 20분
4.참석자
 1)KGS : 방효중부장님, 오정석박사님, 유창훈차장님
 2)나라전기 : 유준우이사님
 3)KPM : 박수열대표이사, 강희철이사, 원병연차장
5.주요 협의 내용
 1)커버 스크류 Lock 장치 필요
 2)안테나부 틈새 관련 : 현 모델 13mm 길이로 규정상 틈새는 0.5mm 이하일 것
 3)커버 내부 용적 : 기판 및 회로부 장착 상태에서의 내부 부피 데이터 제출
 4)방폭 접합면 세부 도면 전부 제출
 5)금속, 유리 포함 재질 사양 제출
 6)원통 접합면 제작 틈새 0.15mm
 7)Thread : 5산 이상(양쪽 끝산은 제외), 1.5pitch 이상
 8)Glass와 커버 결합 시 Epoxy 처리 후 Lock Nut 체결할 것.
 9)시료 제출 : 온도 시험용, 폭발 시험용 Tap Hole(3/8" 3개, M14-1.15p 1개) 가공할 것.
  -> 압력 중첩을 고려 중앙 몸체에 시험용 홀을 가공 예정.
 10)Epoxy 시료만 커버와 결합체로 별도로 제출
 11)인증 기간 : 최소 1개월 이상
 12)IP68는 KGS에서 인증 불가능하므로 IP67로 진행

<방폭인증 관련 설계 협의 with 가스안전공사>



<방폭케이스 샘플 목업>

○ 방폭규정은 외압방폭규정인 EX d IIC T5 IP68 규정을 만족하도록 설계하였다.

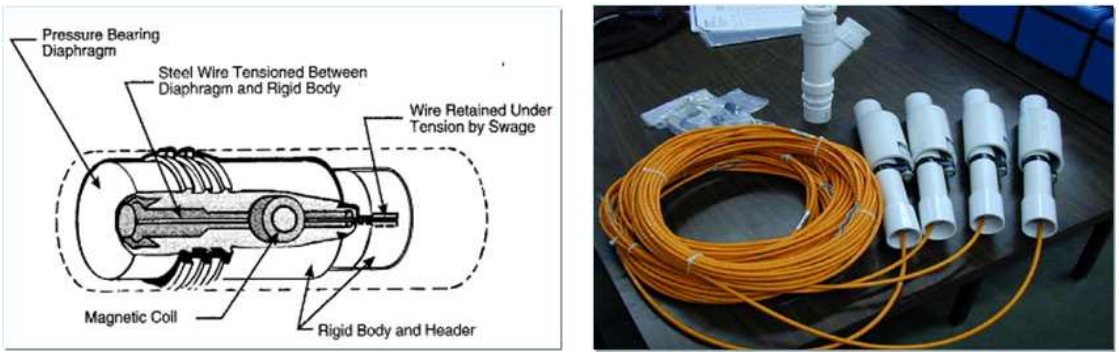
3. 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가

(1) 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술 개발 및 인터페이스 검증

① u-GISN 플랫폼 기반의 Geo 센서 적용기술 개발

○ Vibrating Wire Sensor

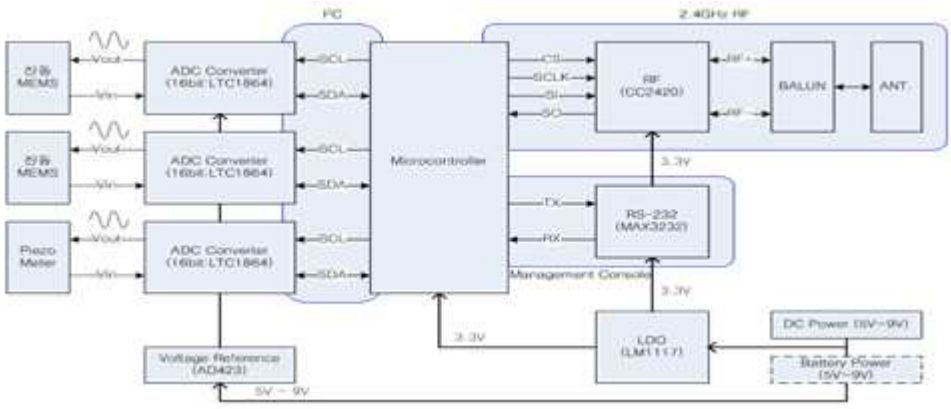
VW Piezometer는 지반의 간극 수압이 격판에 작용하면 격판에 연결된 진동현의 인장력과 고유 진동수가 변화되고 이때 전자기 코일로 현을 진동시킬 때 발생하는 교류 전압의 진동수를 간극 수압 값으로 환산하여 측정



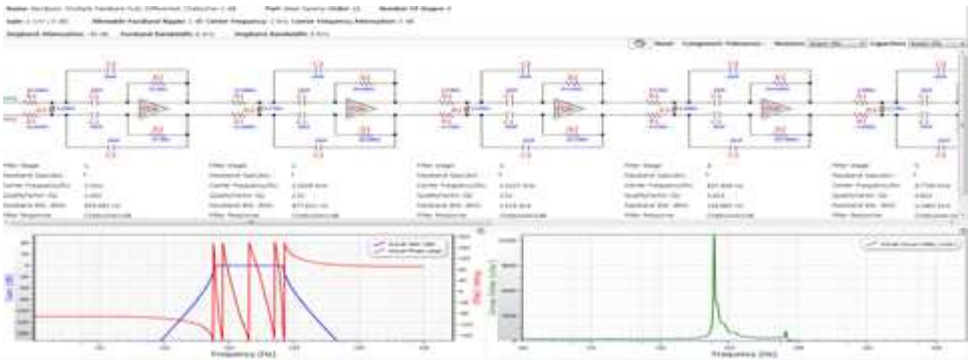
<Vibrating Wire Sensor의 구조, 실물사진>

○ Open Platform 형태의 Geo센서 적용기술 개발

필터 최적화 설계를 통해서, 계측 성능을 향상시켰다.



<시스템 블록 다이어그램>

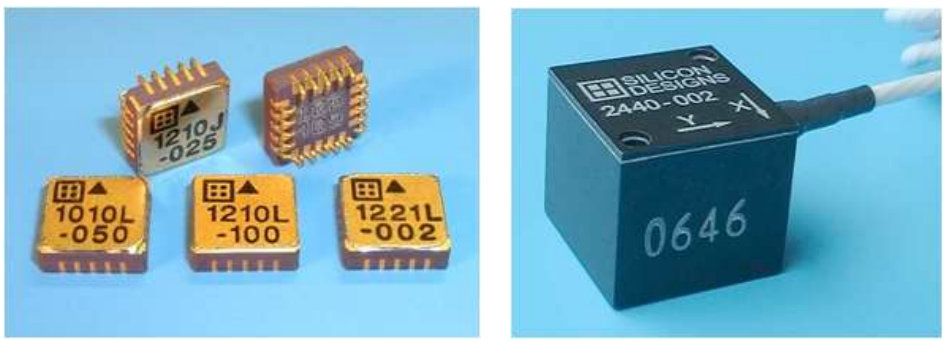


<필더 설계 및 시뮬레이션>

○ Low Noise Analog Accelerometer

2축가속도 기반의 센서로 X축과 Y축에 대해서 각각 2g의 Full Scale 입력 범위를 가지는 정밀 MEMs 형태의 센서로 미소 진동 측정에 활용 가능

내부에 가속도 데이터와 동시에 온도 센서가 포함되어 있는 구조를 가짐



<Low Noise Analog Accelerometer 실물 사진>

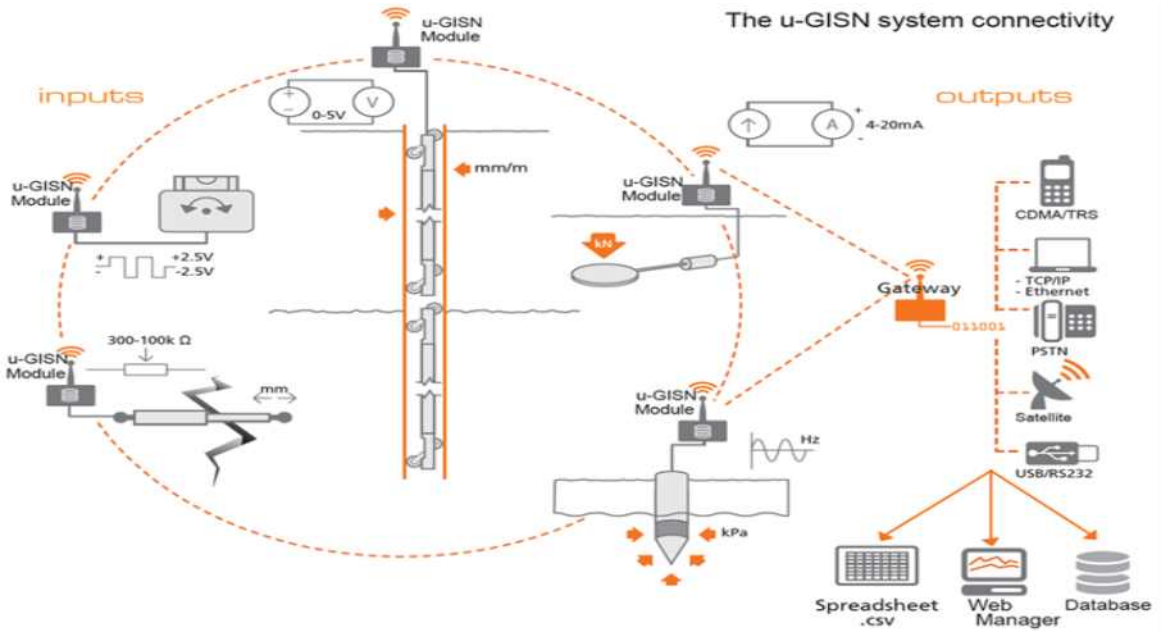
② u-GISN 플랫폼

○ 하드웨어 구성

u-GISN 플랫폼의 주요 사양은 다음과 같음

- 8비트 AVR 코어를 가지는 ATmega128L
- 2.4GHz의 RF를 사용하는 CC2420 RF 트랜시버
- 임피던스 값을 디지털 값으로 변환하는 Impedance Converter
- 정밀전압을 생성하는 Voltage Reference
- ADC, GPIO, JTAG 인터페이스를 지원하는 커넥터
- Power : 배터리 동작 및 DC 전압 (5.0V ~ 9.0V)

○ 시스템 구성도

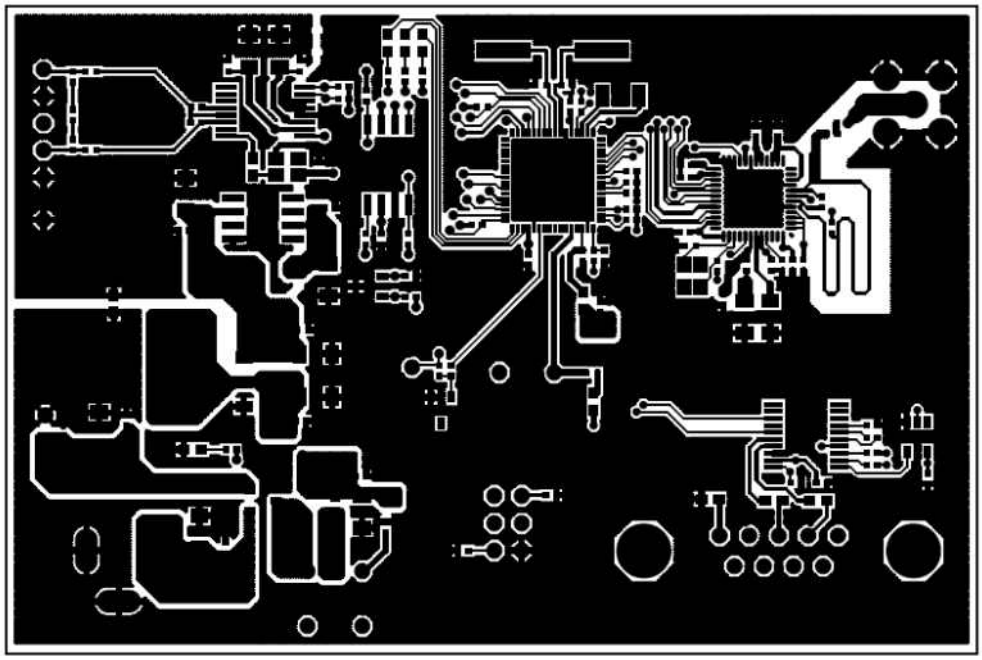


<u-GISN 플랫폼 블록 다이어그램>

- ATMEL사의 ATmega128L 프로세서를 메인프로세서로 사용하여 Impedance Converter 와는 Clock, Data 버스를 이용하여 연결
- RF Transceiver 인 CC2420과는 4 Wire SPI 인터페이스를 사용해서 구성
- 각각의 u-GISN 플랫폼의 데이터 및 동작 모니터링은 RS-232 통신을 통해 가능
- u-GISN 플랫폼 보드의 프로그래밍을 위해 이용되는 SPI, JTAG 인터페이스가 구성
- 진동 MEMS 센서의 인터페이스는 2.54mm 피치의 5핀 커넥터가 제공되는데 ATmega128L의 설정에 따라 타 센서의 인터페이스를 할 수 있는 범용성을 확보하기 위해 A/D 변환 포트와 GPIO 역할을 수행할 수 있게 설계
- 각각의 u-시설물 관리용 초소형, 저 전력 네트워킹 플랫폼 보드의 ID를 위해서 부착되는 Silicon Serial Number IC는 1-wire 인터페이스를 통해서 Data Read 만 가능하게 되어 있음

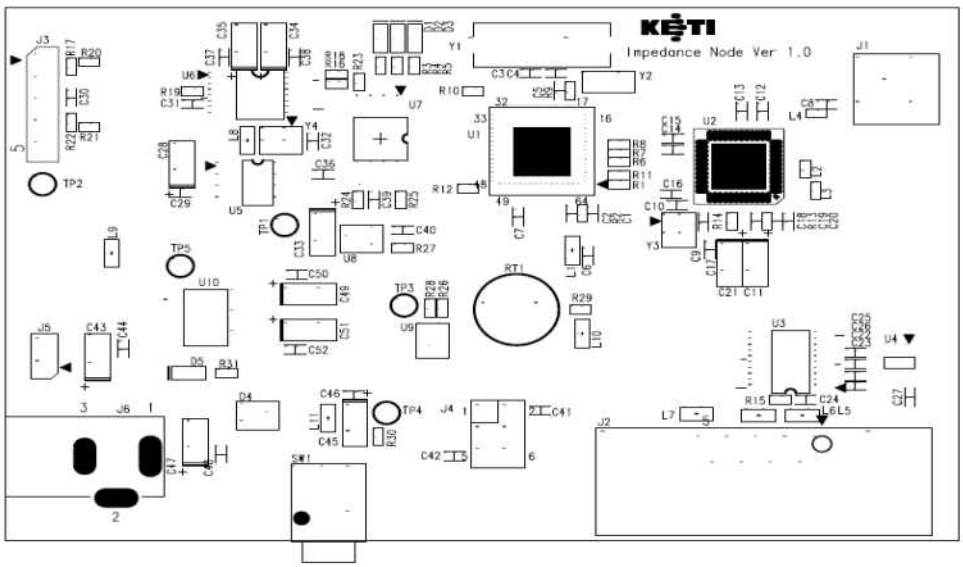
○ 부품배치

- Top 구조

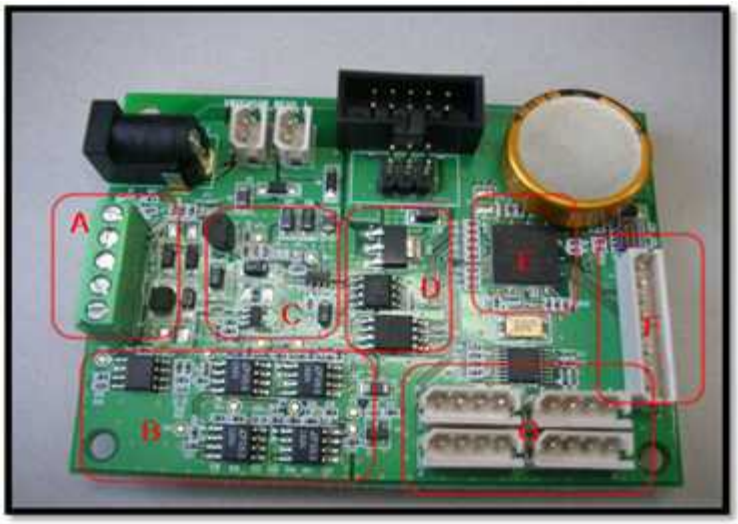


<u-GISN Top 면 구조>

- Top 면 부품배치



<u-GISN TOP 면 부품배치>

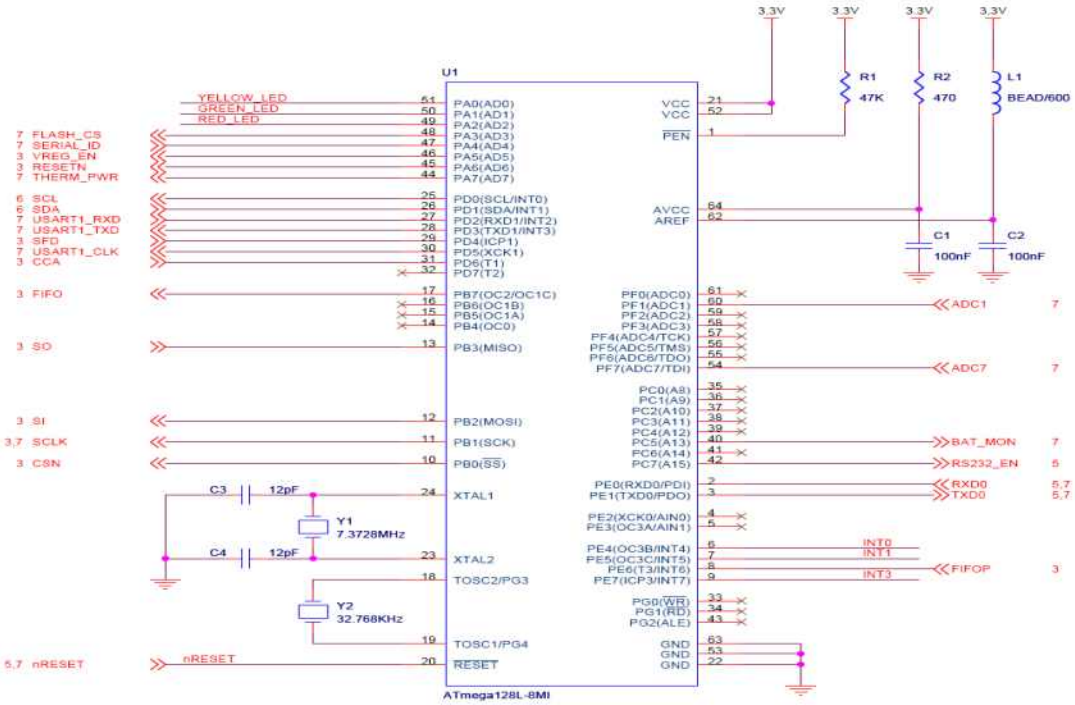


<실제작 u-GISN보드>

○ 상세설계

- 프로세서 (ATMEL ATmega128L)

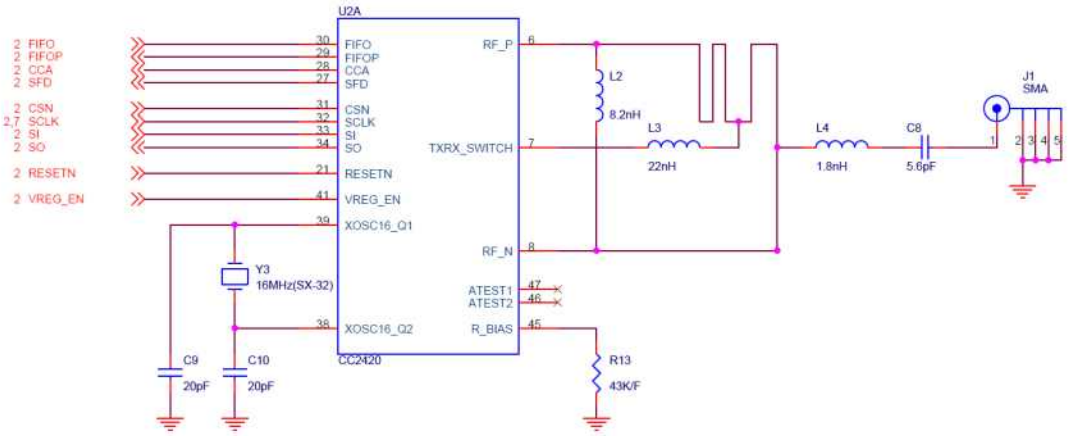
- ATMEL사의 ATmega128L은 AVR 코어를 사용하는 8비트의 범용 프로세서 사용
- ATmega128L 에서는 Serial Flash Memory 인터페이스 및 CC2420을 인터페이스 하는 4-Wire SPI 인터페이스가 존재
- 기본적으로 3.3V 전압을 기준으로 동작하고 기준 클록은 시리얼 통신의 동기를 맞추기 위해 7.3728MHz를 사용하였고 RTC(Real Time Clock)를 보조 클록으로 사용



<u-GISN 플랫폼 Microcontroller 단 회로>

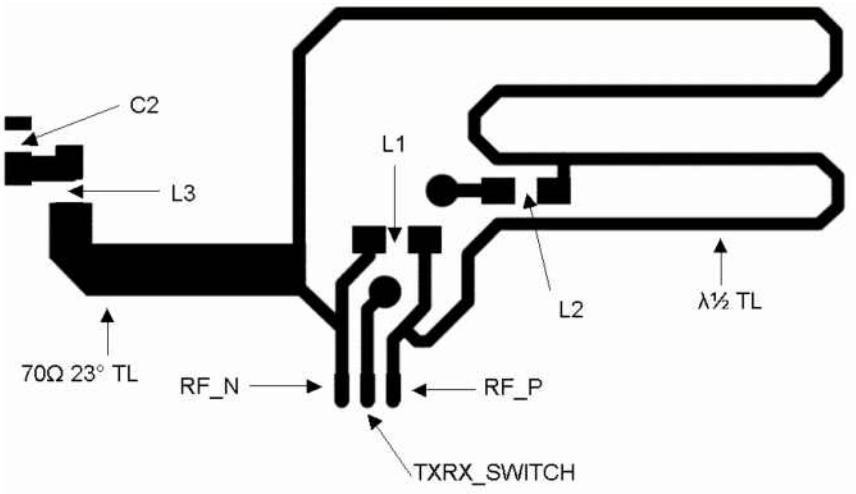
- RF 신호 처리단

- RF 신호 처리단은 Chipcon 사의 CC2420을 사용하며 2.4GHz를 기준으로 동작
- 4-Wire SPI 인터페이스를 통해서 ATmega128L과 인터페이스를 구성



<RF 신호 처리단 회로도>

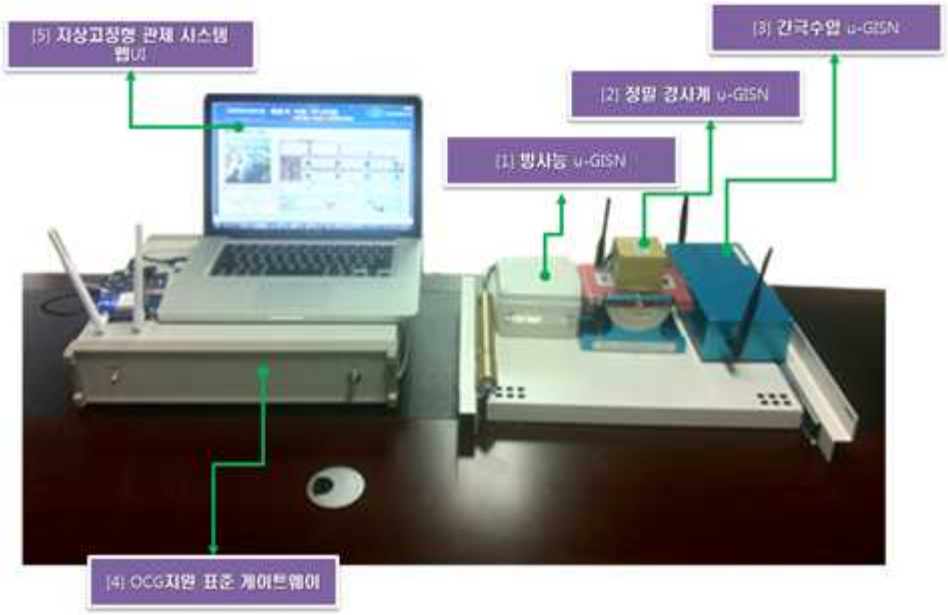
- u-GISN 플랫폼 보드에서 사용된 안테나는 2.4GHz를 기반으로 하는 SMA 형태의 안테나를 사용
- 안테나 구성 시 주파수의 안정성 및 정밀성을 확보하기 위하여 PCB 패턴을 이용하여 BALUN 회로를 구성



<u-GISN RF부 Balun 단 Pattern 설계>

(2) 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증

- 플랜트 지반 및 시설물 계측에 사용될 수 있는 다양한 센서들에 대한 인터페이스 검증 수행



<인터페이스 검증을 위한 테스트 시스템>

인터페이스 검증 센서	
진동현식 센서	간극수압계
	지중온도계
	지중경사계
전기저항식 센서	정밀경사계
	방사능센서
	Accelerometer
	Strain-Gauge
전압/전류 출력 센서	전압출력센서
	전류출력센서

<인터페이스 검증된 센서 리스트>

4. 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석

(1) 플랜트 지반 테스트베드 구축

○ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축

1) 여수 산업단지 내 테스트베드 구축

-> 기존 계획에서 여수화학단지의 테스트베드 시험구축으로 현장에 유선계측시스템 도입으로 케이블 작업 및 추가 설치 등을 동의하지 않아 무선계측시스템의 성능 검증(한국플랜트관리 연구내용)만 수행하였음.



<여수 국가산업단지 플랜트 현장 테스트베드 시설물>

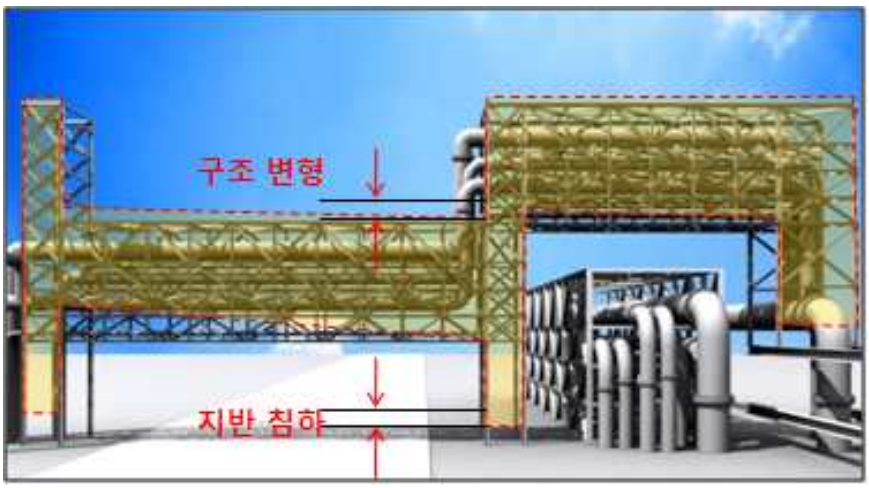
2) u-GISN의 성능 및 신뢰성 분석을 위한 플랜트지반 유사현장에서의 실험

-> 여수화학단지 내의 유/무선 계측시스템의 신뢰성 분석이 용이하지 않아, 유사시설물로 교량 가설벤트 구조물과 사면현장에 유/무선 계측시스템을 도입하여 신뢰성 분석을 수행함

(2) 기존 계측시스템과의 성능 비교를 통한 신뢰성 분석

○ u-GISN의 성능 및 신뢰성 분석을 위한 유사현장 실험

· 플랜트지반을 모니터링하는데 있어 대표적인 항목은 지반의 침하와 그에 따른 플랜트 구조물의 변형에 따른 상태를 평가하는 것임.



<플랜트지반의 대표적인 모니터링 항목>

· 하지만 앞서 언급한 바와 같이 여수화학단지의 테스트베드 시험구축 현장에서 유선계측 시스템 설치에 따른 케이블 및 추가 설치가 용이하지 않아 각각의 모니터링 항목을 시뮬레이션 할 수 있도록 타 유사 현장에서 u-GISN과 유선 계측시스템을 설치하여 u-GISN의 성능 및 신뢰성을 분석하였음.

① 유사 지반침하 발생 현장 - 사면

성토(또는 절토) 사면의 경우 타 시설에 비해 지반의 거동이 가장 명확하게 나타나기 때문에 이를 선정하여 u-GISN의 성능 및 신뢰성을 분석함.

1. 센서 위치 선정을 위한 사면붕괴요인 분석

사면 붕괴는 지반의 안정화 과정으로 구성지반의 강도가 현상태를 지탱하기 어려울 때 발생하는 것으로 절토사면의 붕괴원인은 매우 다양하며 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하여 발생된다.

1) 수리적인 붕괴요인

지반의 불안정화의 가장 주된 요인으로 물의 열화에 의한 작용으로 발생한다. 수리적인 요인의 지반 불안정화로 인한 장기적인 작용은 동결융해에 의한 지반의 기계적 풍화, 물과 물에 용해되어 있는 화학성분에 의한 지반의 화학적 풍화, 사면시설의 부재 부식 등에 의한 노후화를 들 수 있다. 또한, 단기적인 작용으로는 지반포화로 인한 단위중량 증가, 간극수압의 증가, 유효응력 감소, 마찰력 감소, 지반구성입자의 유실 및 액상화에 의해 불안정화 작용이 발생된다.

① 기후적인 수리요인

- 집중강우, 태풍, 동결/융해

② 인위적인 수리요인

- 사면 상부에 위치한 농경지, 인공저수지 등

③ 지형적인 수리요인

- 사면 내에 존재하는 집수지형(계곡부)

2) 지질적인 붕괴요인

불연속면에 의한 요인이 지배적이며 취성의 지반이 변형을 일으키며 생성된 균열을 따라 상대적인 변위가 발생하는 단층/파쇄대, 기존암반의 불연속면을 따라 다른 종류의 반심성암체가 용융상태로 뚫고 들어오는 암맥 현상, 변성암과 퇴적암에 존재하는 단방향의 규칙적인 불연속면이 나타나는 편리/층리, 지반의 연성 변형으로 발생되는 대규모 지질구조인 습곡을 들 수 있다.

2) 인위적인 붕괴요인

인위적인 요인으로는 절토사면 관련 기준이 미흡하며, 현장의 지질/수리/지형적 상태를 고려하지 못한 설계, 부실시공에 따른 시공불량, 유지관리 체계의 부재로 급속한 노후화로 인해 절토사면의 붕괴가 발생 될 수 있다.

2. 계측 센서 선정

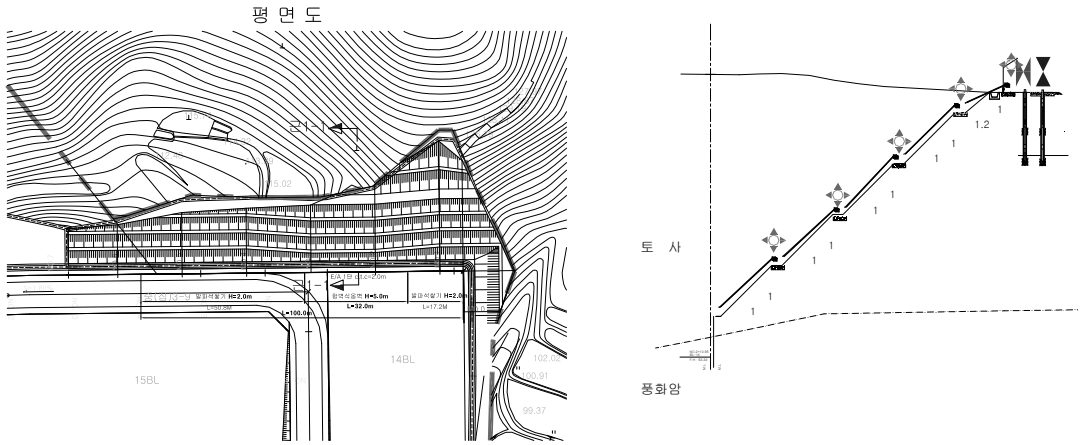
계측센서 및 수량은 사면붕괴의 원인을 검토하고 깍기부 주변의 상황 및 설계시 불확실성을 충분히 검토하여 결정하였으며 지중경사계, 지하수위계를 통하여 사면 거동의 계측을 수행하도록 하였음. 통상적으로 사면의 경우에는 사면변위계가 설치되어야 하지만 플랜트지반의 경우에는 필요 없는 항목이기 때문에 이는 제외하였음.

<계측항목 선정>

계측 항목	분석 내용	설치위치 및 방법	비 고
지중경사계	-절토사면 지반의 심도별 수평 변위 파악 -측정간 위치,방향, 변위속도 예측	사면 상단부 (지반의 거동 및 변위 발생이 클것으로 예상되는 장소)	관측정내 전기식 측정기 사용
지하수위계	-강우량과 지하수의 상관관계에 대한 변수 정의 -지하수 변동 측정	사면 상단부 (대수층 지반까지 천공하여 설치)	관측정내 진동현식 측정기 사용

3. 계측 위치

계측기로부터 전달되는 신호는 사면에 대한 응답으로서의 의미를 가지며, 사면의 손상 또는 열화에 대한 정보를 제공한다. 그러나 사면의 전 부분에 대하여 계측기를 설치하는 것은 비용과 효율성을 고려할 때 적절하지 않으므로 계측기가 설치된 특정 위치에 대한 제한된 정보만을 이용하여 사면 전체에 대한 응답을 추정하여야 한다. 따라서 사면의 특성이 가장 잘 반영되는 위치에 계측기를 설치하여야 하며, 계측위치 선정은 계측의 성패에도 큰 영향을 미치게 된다.



<계측기 배치도>

<계측기 설치수량>

구분	수량	센서형상
지중경사계	(2M/1POINT) 8POINT 14M 1개소	
지하수위계	1	

4. 계측기 선정

계측기는 대부분 미소한 센서의 변화를 이용하게 되므로 외부환경에 매우 민감하게 작용한다. 따라서 안정되고 유용한 계측값을 취득하기 위해서는 계측기의 성질 및 동작원리를 파악하고 계측계획을 철저히 수립할 필요가 있다.

4.1 지중경사계

(1) 측정 목적

지중수평변위 측정은 사면깍기에 따른 지반의 심도별 수평변위량 위치와 방향, 크기와 속도를 측정하여 수평방향의 지반 이완영역을 판단하기 위하여 실시한다.

(2) 설치방법

현장의 특성과 상황에 따라 보링과 그라우팅의 방법은 현장마다 차이가 있으나 일반적으로 다음과 같은 방법으로 설치하고 측정을 실시 한다.

① 굴착공의 지름 100~200mm로 터널굴착심도보다 1.5~2m정도 깊게 보링한다.

② 보링하는 동안 케이싱 한쪽끝을 보호마개로 씌우고 리벳건을 사용하여 조립을 한다.

③ 케이싱을 카플링으로 리벳팅하여 조립하고 테이프로 Sealing 한다.

④ 굴착공으로 조립된케이싱을 내린 후 상부 보호마개로 막고, 설정된 측정방향으로 케이싱의 홈방향을 맞춘다.

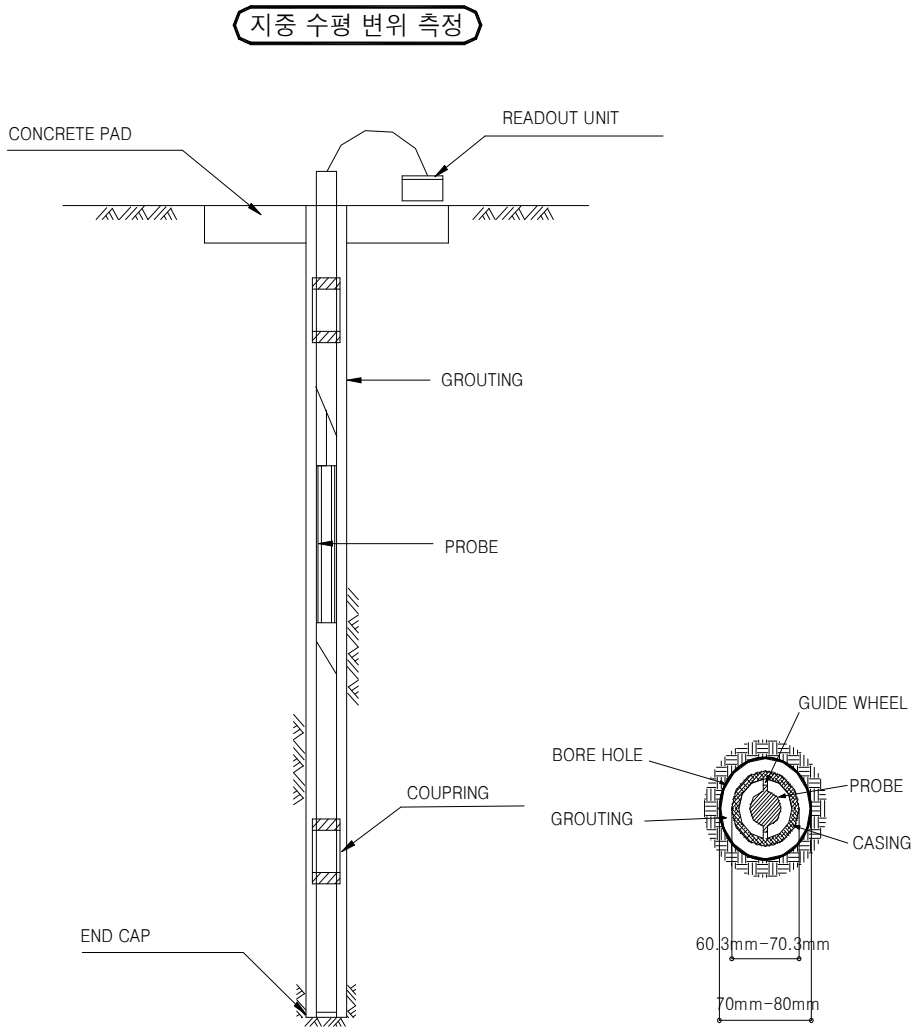
⑤ 하부 암반에 100cm 내지 150cm 정도 Cement 그라우팅을 하되 토질에 따라 Cement와 Bentonite를 적당한 비로 혼합하여 그라우팅 한다.

⑥ 케이싱 상단 주위에 보호장치를 하고 그라우트재가 침하 한 후 재그라우팅을 한다.

(3) 사양

구분	적용사양	설치형상
작동방식	전기식 변위센서	
정밀도	± 22 arc second	
측정범위	± 10°	
측정형식	전기식	
분해능	9 arc second	
동작온도	-20 ~ 80℃	

(4) 계측기 설치상세도



4.2 지하수위계

(1) 측정 목적

관측점이나 Stand Pipe내에 지하수위의 증감을 측정하여 지하수위 증감으로 인한 수압 변동에 따른 사면의 안전성 판단 자료로 활용한다.

(2) 설치방법

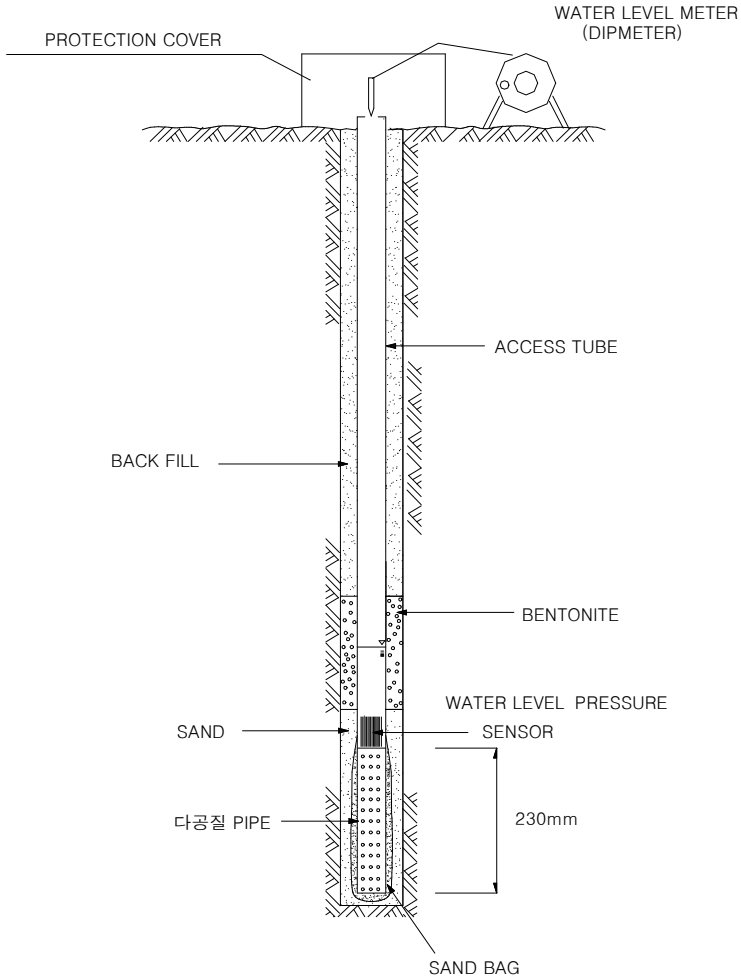
① 설치지점은 경사계와 동일한 위치로 하여 계획된 심도까지 보링한다.
② 보링하는 동안 측정관과 Casagrand tip을 조립한다. 이때 설치 후 시간의 경과에 따라 투수성의 감소로 인한 계측결과의 부정확성을 줄이기 위해 Casagrand tip의 외부를 필터로 씌우고 이를 다시 모래주머니로 감싼 후 양단을 테이핑 하여 투수성이 감소되지 않도록 한다.
③ 천공한 공내의 최하단부에 0.5m 정도의 두께로 입도가 양호한 모래나 자갈로 채워서 투수층을 형성하며, 이때 입도가 너무 커서 공극이 생기지 않도록 주의한다.
④ 굴착공으로 조립된 측정관을 삽입한다.
⑤ 뒷채움을 한 후에 상단에 지표수의 유입방지를 위해 콘크리트 또는 모르타르로 주위를 포설하고 굴착공의 상단을 완전히 밀봉한 후 돌출부에 보호장치를 한다.

(3) 사양

구분	적용사양	설치형상
측정범위	50/100 psi	
정밀도	± 0.5%FSR	
측정방식	진동현식 센서	
분해능	0.025%FSR	
최대인가압력	150%FSR	
작동온도	-29 ~ 65℃	

(4) 설치상세도

지하수위 측정 상세도


WATER LEVEL METER
(DIPMETER)
PROTECTION COVER
ACCESS TUBE
BACK FILL
BENTONITE
WATER LEVEL PRESSURE
SENSOR
SAND
다공질 PIPE
230mm
SAND BAG

5. 계측결과 비교

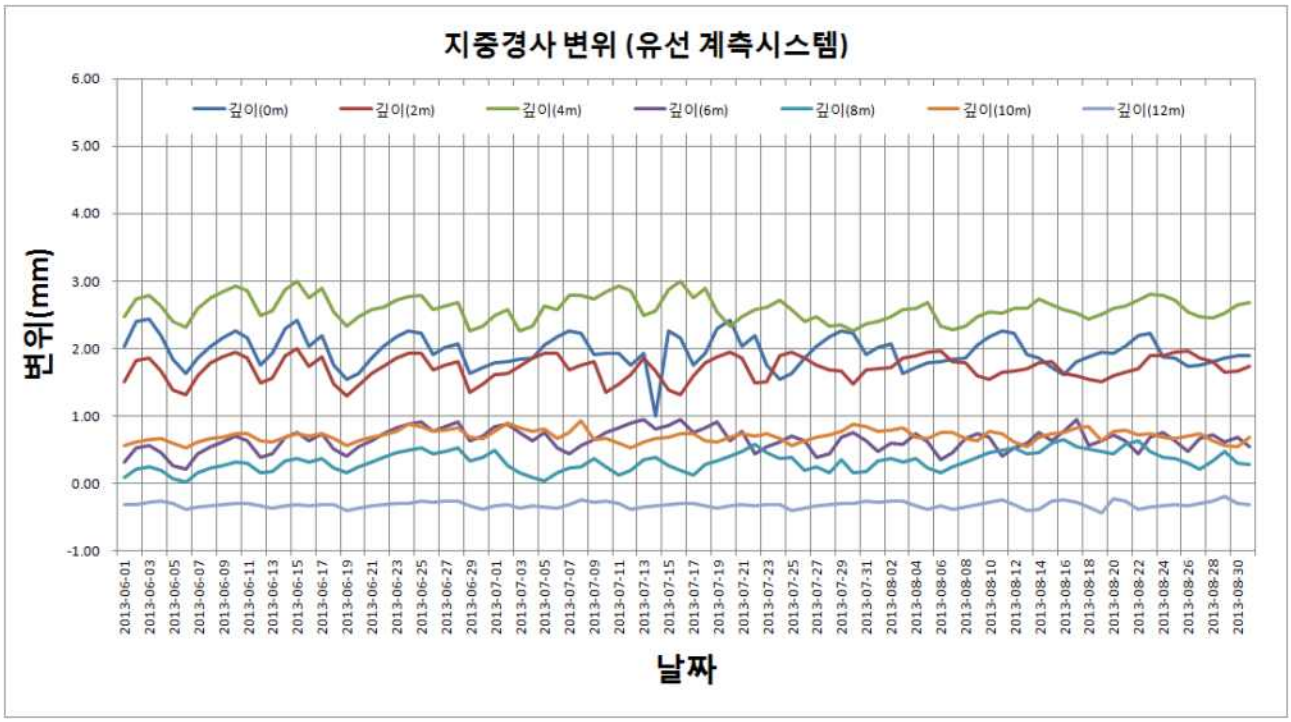
플랜트지반 u-GISN 시스템 구축을 위한 신뢰성 분석을 위한 유사 테스트베드 구축으로 사면현장에서 지중경사계와 지하수위계를 각각 적용하여 신뢰성 분석을 수행하였다.

계측수행기간은 2013년 6월 1일에서 8월 31일까지 3달간 수행되었으며, 자동화 계측을 수행하였다. 자동화 계측은 상시 전원 공급의 어려움(태양열반을 이용)으로 인해 매일 1회 계측을 수행하였다.

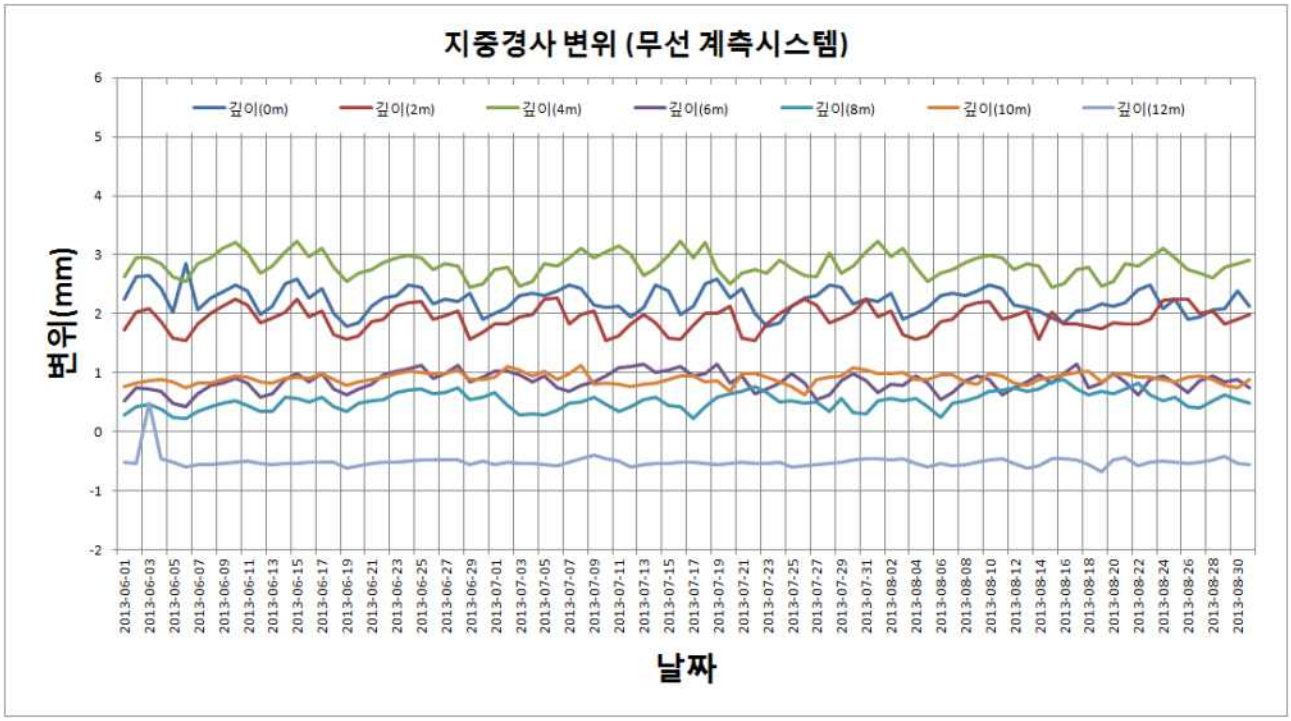
지중경사계는 지표면에서 깊이 14m까지 2m간격으로 경사변위를 계측하였다. 유선 및 무선계측시스템간의 계측오차는 10% 이내였으며, 장기 거동 계측결과 유선 계측시스템에의 효율성과 근접한 결과를 보였다.

지하수위계 역시 계측오차는 10% 이내였으며, 장기 거동 계측에서도 유선 계측시스템에의 효율성과 근접한 결과를 보였다.

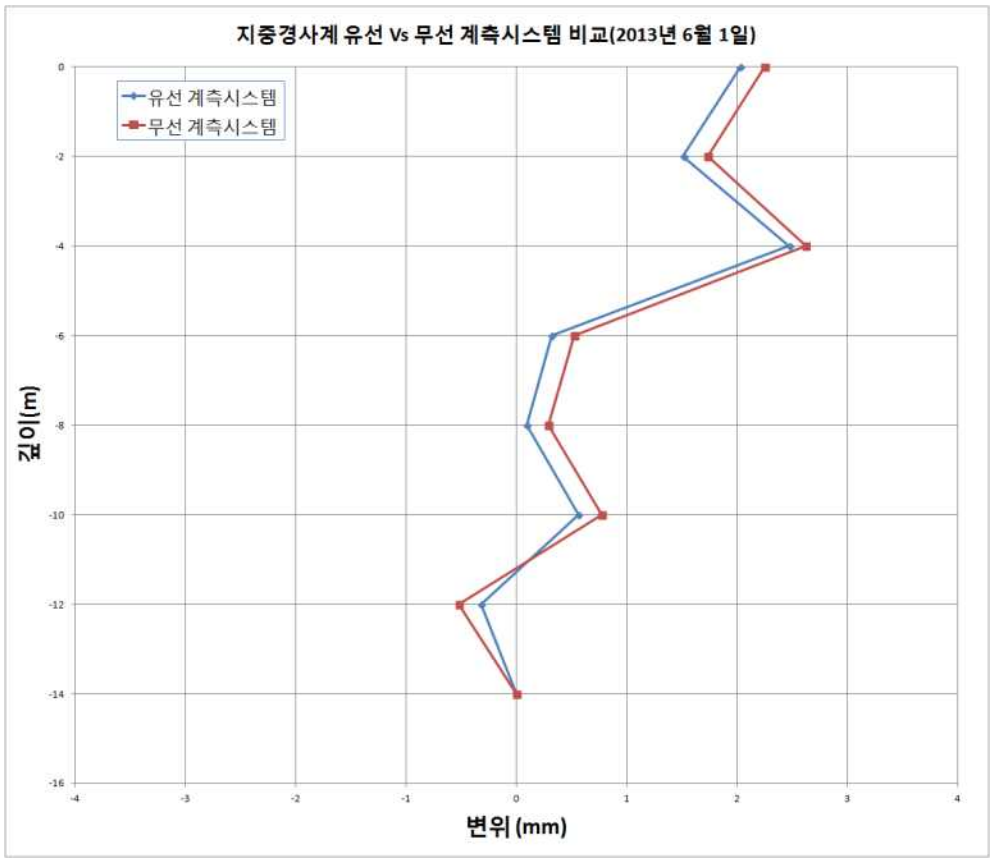
이러한 오차는 유선계측 시스템의 케이블 저항이나 케이블에 의해 생성된 노이즈에 의해서 발생하는 것일 수 있으며, 또는 u-GISN의 데이터로거나 통신상에서 발생하는 문제일 수 있다.



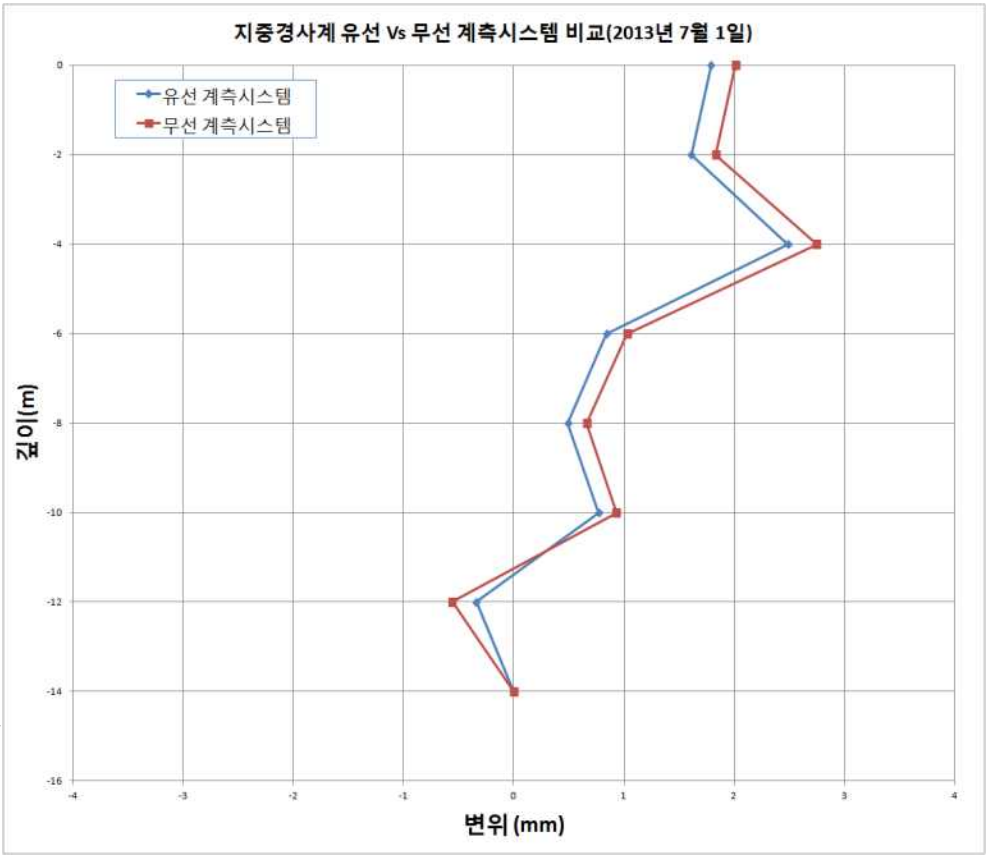
<지중경사계 깊이별 장기 계측 결과(유선시스템)>



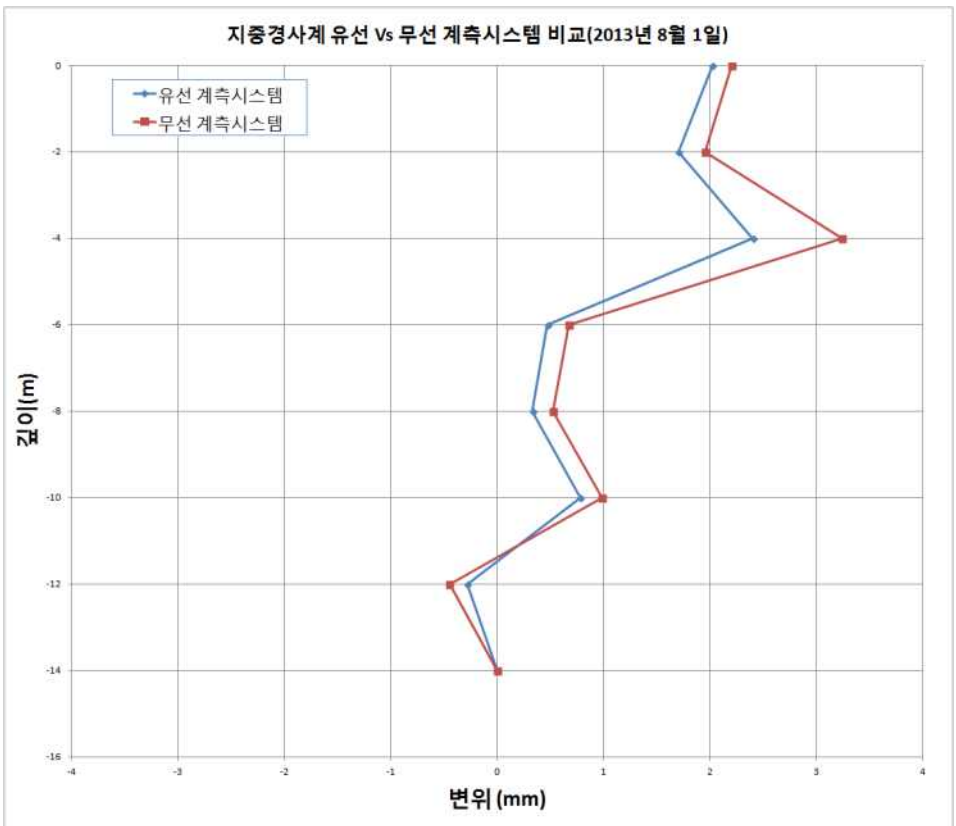
<지중경사계 깊이별 장기 계측 결과(무선시스템)>



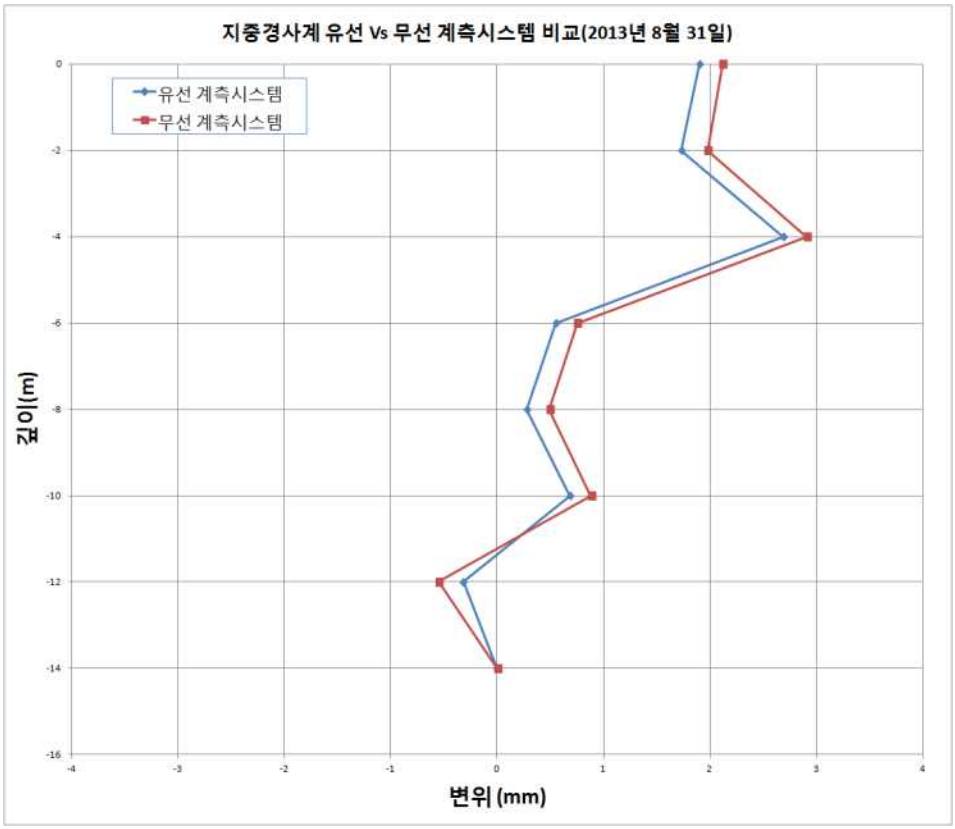
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(2013년 6월 1일)>



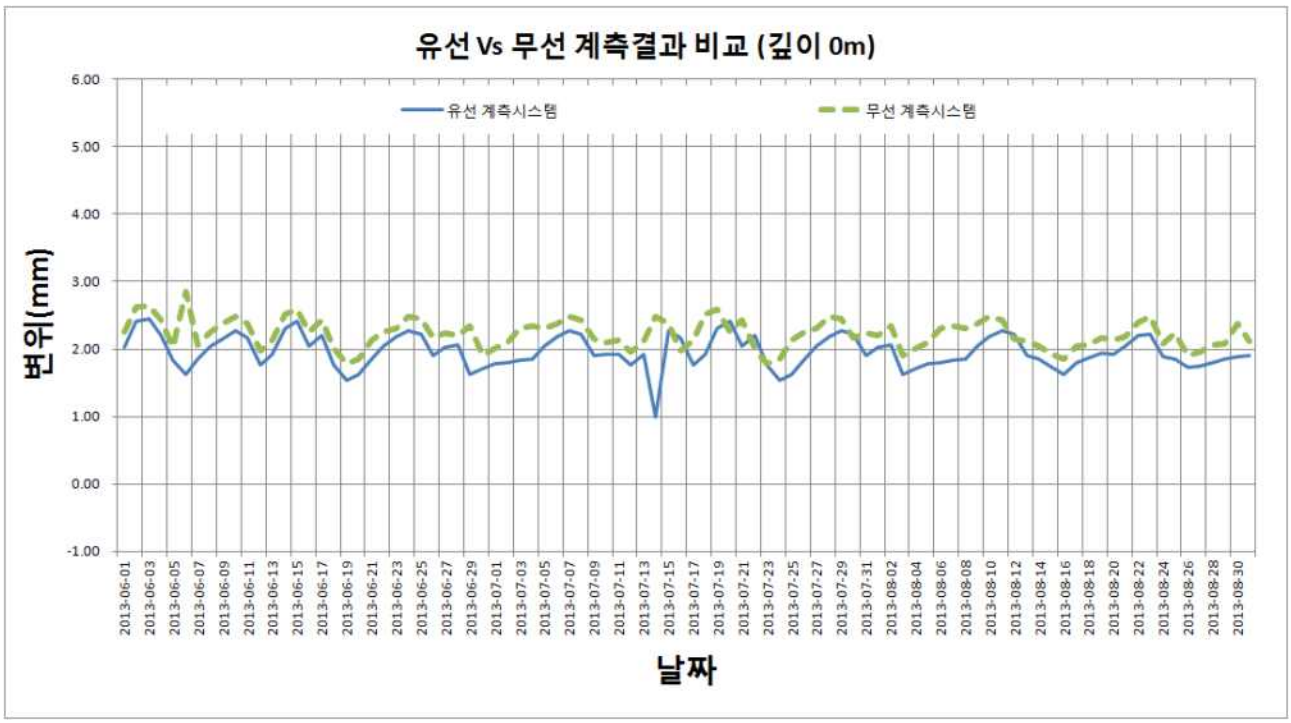
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(2013년 7월 1일)>



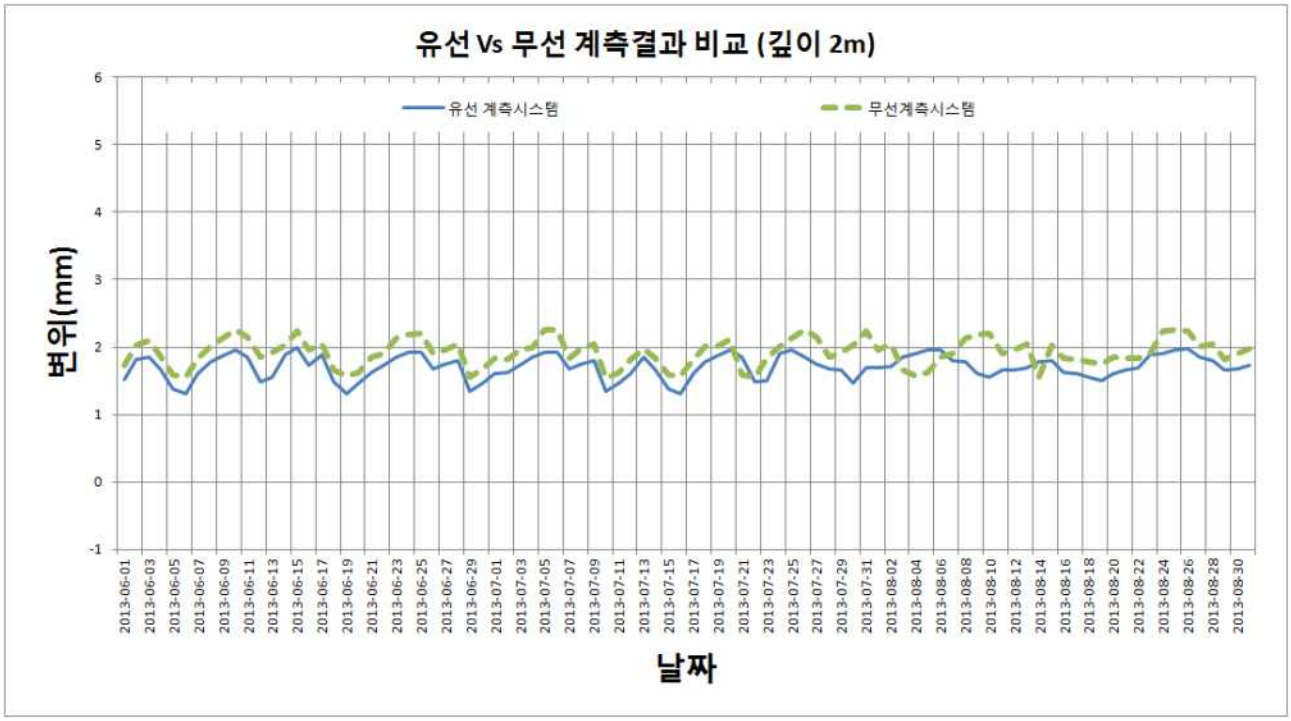
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(2013년 8월 1일)>



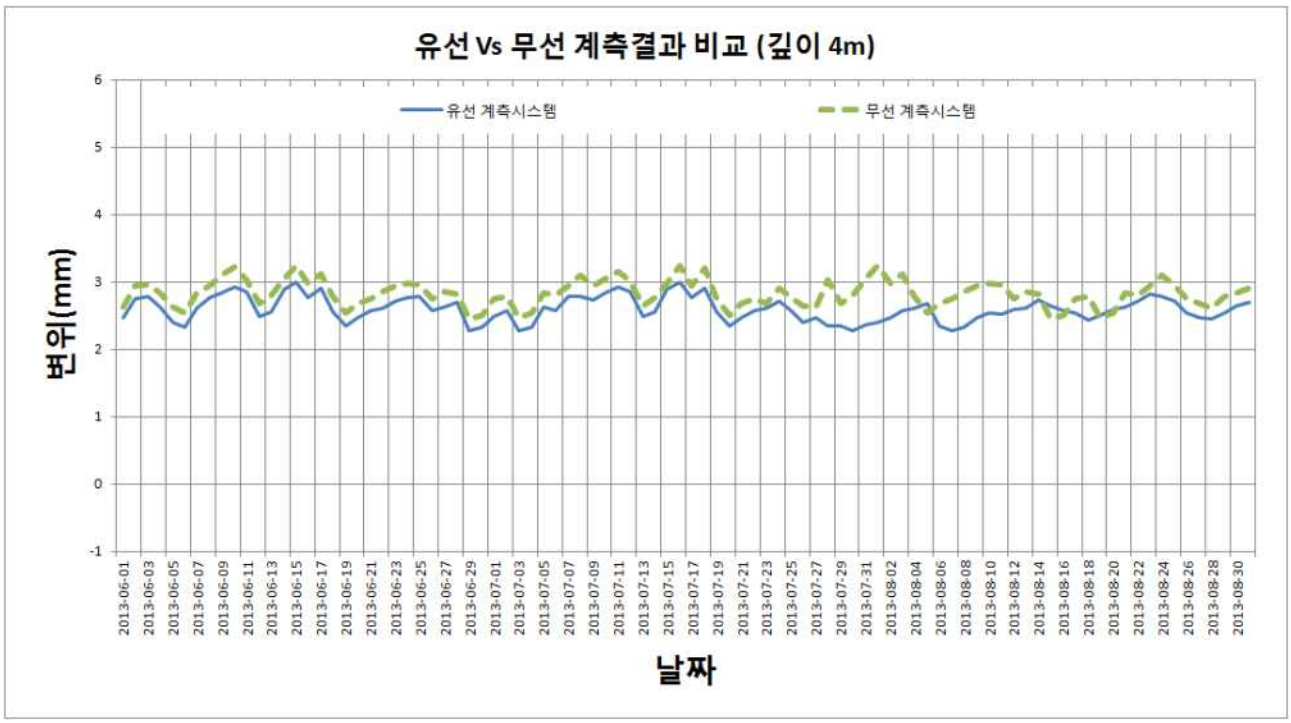
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(2013년 8월 31일)>



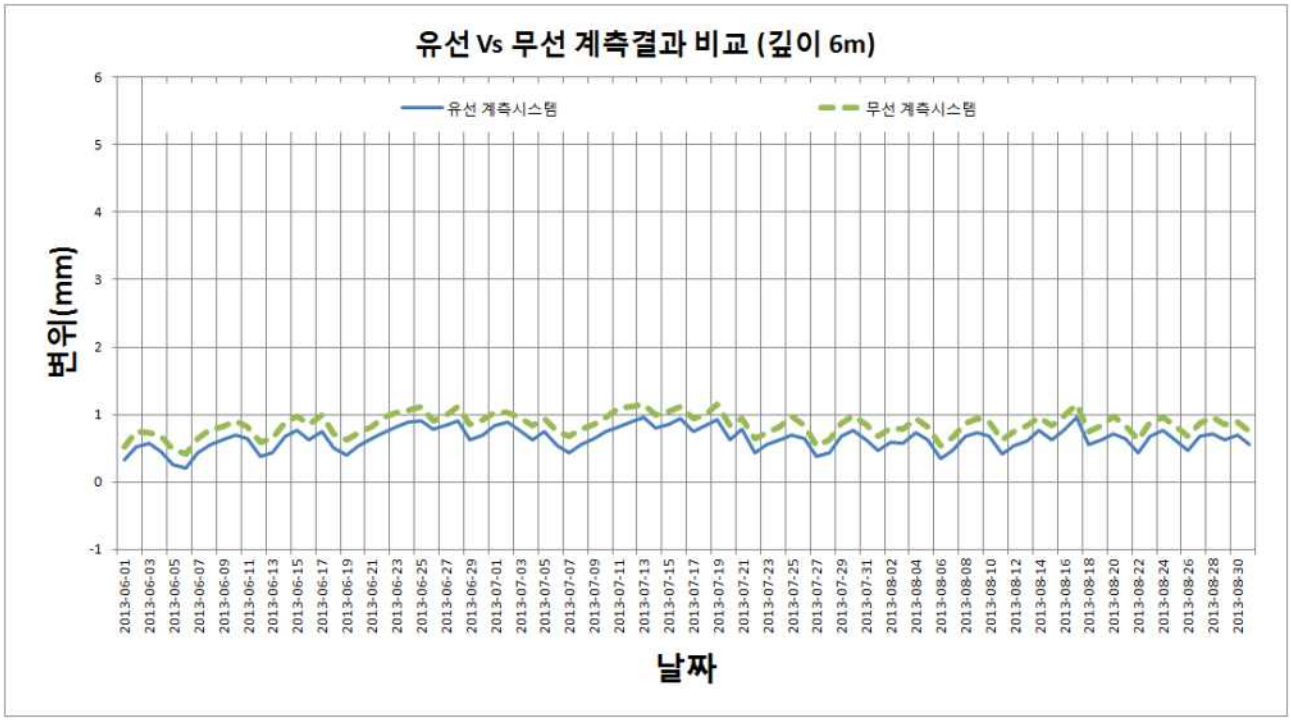
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 0m)>



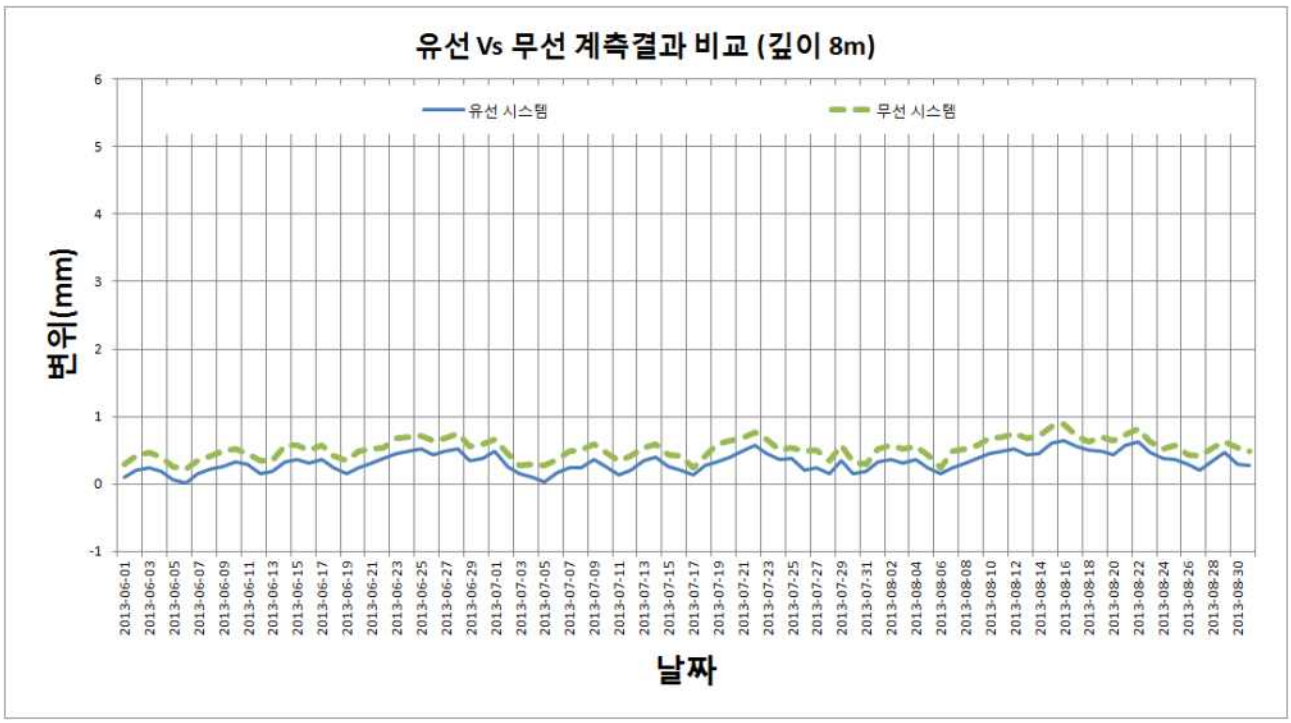
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 2m)>



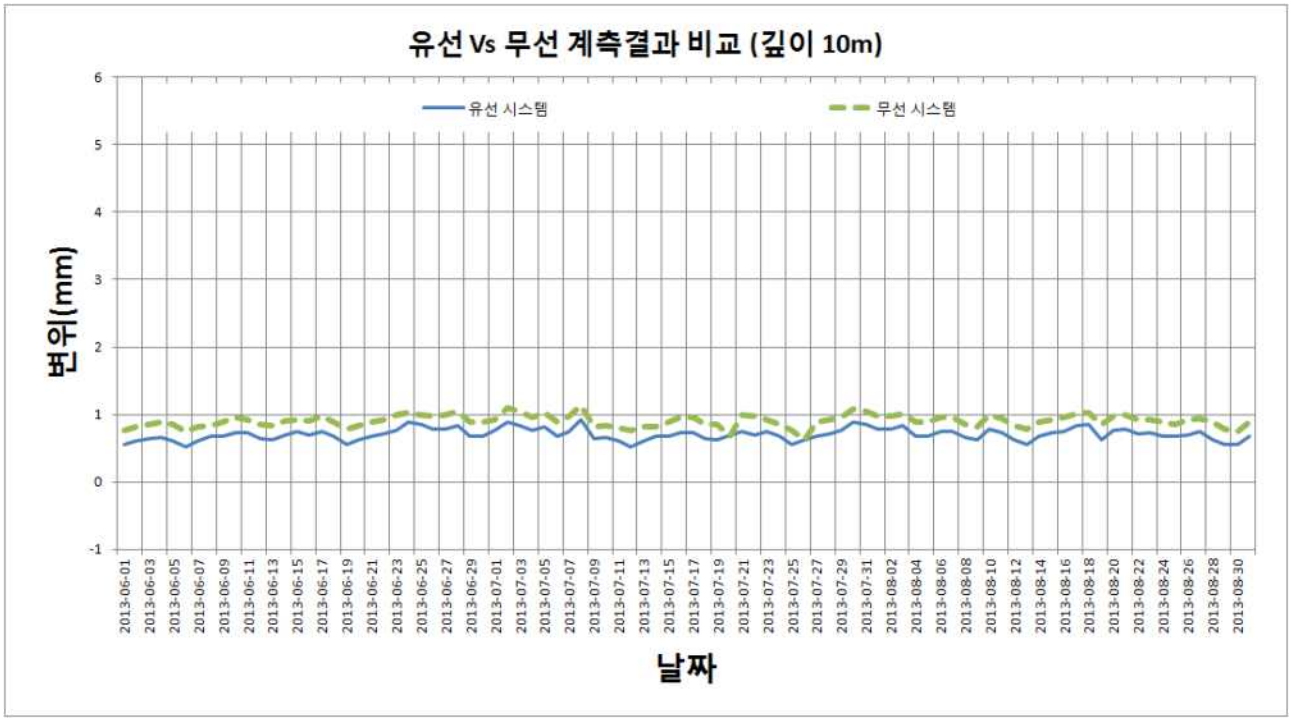
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 4m)>



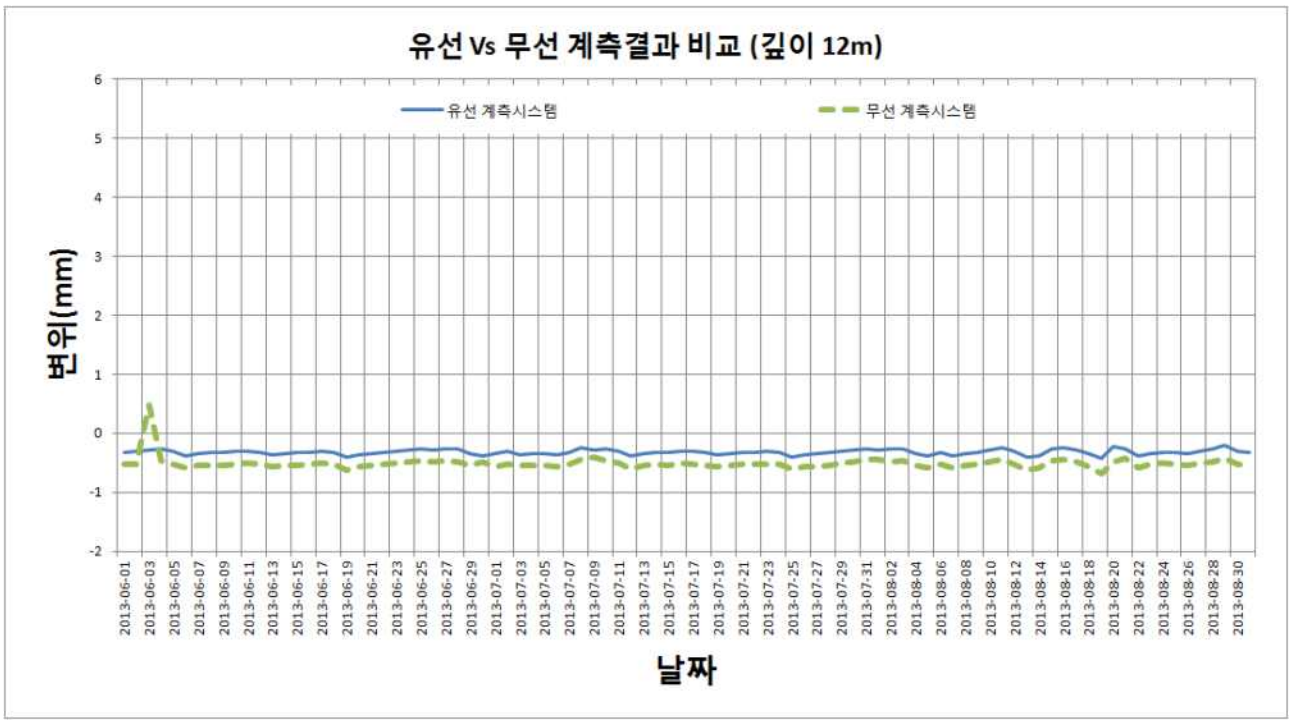
<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 6m)>



<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 8m)>



<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 10m)>



<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 비교(깊이 12m)>

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교>

계측시간		깊이							
		0.0m		2.0m		4.0m		6.0m	
날짜	시간	유선	무선	유선	무선	유선	무선	유선	무선
2013-06-01	0:00	2.03	2.25	1.51	1.73	2.47	2.62	0.32	0.52
2013-06-02	0:00	2.41	2.62	1.82	2.03	2.74	2.94	0.52	0.74
2013-06-03	0:00	2.44	2.64	1.86	2.09	2.78	2.95	0.57	0.73
2013-06-04	0:00	2.20	2.43	1.66	1.86	2.63	2.84	0.45	0.68
2013-06-05	0:00	1.84	2.03	1.38	1.59	2.4	2.62	0.26	0.48
2013-06-06	0:00	1.63	2.85	1.31	1.55	2.32	2.54	0.21	0.42
2013-06-07	0:00	1.86	2.06	1.6	1.83	2.6	2.84	0.44	0.64
2013-06-08	0:00	2.04	2.26	1.79	2.01	2.76	2.94	0.55	0.78
2013-06-09	0:00	2.15	2.37	1.87	2.13	2.84	3.1	0.62	0.82
2013-06-10	0:00	2.27	2.48	1.95	2.25	2.93	3.22	0.7	0.91
2013-06-11	0:00	2.16	2.38	1.85	2.15	2.85	3.02	0.64	0.82
2013-06-12	0:00	1.76	1.98	1.49	1.85	2.49	2.68	0.38	0.59
2013-06-13	0:00	1.92	2.13	1.56	1.93	2.56	2.8	0.43	0.64
2013-06-14	0:00	2.30	2.51	1.89	2.03	2.88	3.05	0.68	0.88
2013-06-15	0:00	2.42	2.59	2.0	2.24	3.0	3.24	0.76	0.98
2013-06-16	0:00	2.04	2.26	1.73	1.95	2.76	2.97	0.63	0.85
2013-06-17	0:00	2.20	2.43	1.88	2.05	2.9	3.12	0.74	0.99
2013-06-18	0:00	1.76	2.01	1.48	1.65	2.55	2.78	0.51	0.72
2013-06-19	0:00	1.54	1.78	1.3	1.57	2.34	2.54	0.4	0.62
2013-06-20	0:00	1.63	1.85	1.46	1.63	2.47	2.68	0.54	0.73
2013-06-21	0:00	1.86	2.13	1.63	1.86	2.57	2.74	0.64	0.81
2013-06-22	0:00	2.04	2.26	1.73	1.91	2.61	2.86	0.73	0.96
2013-06-23	0:00	2.18	2.3	1.85	2.13	2.71	2.94	0.82	1.03
2013-06-24	0:00	2.27	2.48	1.92	2.18	2.77	2.98	0.88	1.06
2013-06-25	0:00	2.22	2.45	1.93	2.21	2.79	2.95	0.91	1.12
2013-06-26	0:00	1.91	2.16	1.68	1.9	2.57	2.75	0.78	0.91
2013-06-27	0:00	2.02	2.24	1.75	1.96	2.63	2.85	0.84	0.98
2013-06-28	0:00	2.07	2.2	1.8	2.05	2.69	2.81	0.91	1.12
2013-06-29	0:00	1.63	2.34	1.35	1.56	2.27	2.45	0.63	0.85
2013-06-30	0:00	1.71	1.9	1.47	1.68	2.33	2.51	0.7	0.92
2013-07-01	0:00	1.79	2.01	1.61	1.83	2.49	2.75	0.84	1.03
2013-07-02	0:00	1.80	2.1	1.63	1.82	2.57	2.78	0.88	1.03
2013-07-03	0:00	1.84	2.31	1.73	1.95	2.27	2.46	0.76	0.96
2013-07-04	0:00	1.85	2.35	1.85	1.99	2.33	2.54	0.63	0.84
2013-07-05	0:00	2.05	2.31	1.92	2.25	2.63	2.84	0.75	0.94
2013-07-06	0:00	2.18	2.38	1.93	2.26	2.57	2.8	0.53	0.75
2013-07-07	0:00	2.27	2.48	1.68	1.83	2.79	2.94	0.43	0.68
2013-07-08	0:00	2.22	2.43	1.75	1.98	2.78	3.1	0.56	0.78
2013-07-09	0:00	1.91	2.15	1.8	2.05	2.73	2.94	0.65	0.85
2013-07-10	0:00	1.92	2.1	1.35	1.54	2.84	3.04	0.75	0.95
2013-07-11	0:00	1.93	2.13	1.47	1.63	2.93	3.15	0.82	1.09
2013-07-12	0:00	1.76	1.95	1.61	1.82	2.85	3.01	0.89	1.11
2013-07-13	0:00	1.92	2.11	1.86	1.98	2.49	2.64	0.95	1.15
2013-07-14	0:00	1.00	2.48	1.66	1.84	2.56	2.76	0.8	1.0
2013-07-15	0:00	2.27	2.38	1.38	1.58	2.88	2.98	0.86	1.04

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교 - 계속>

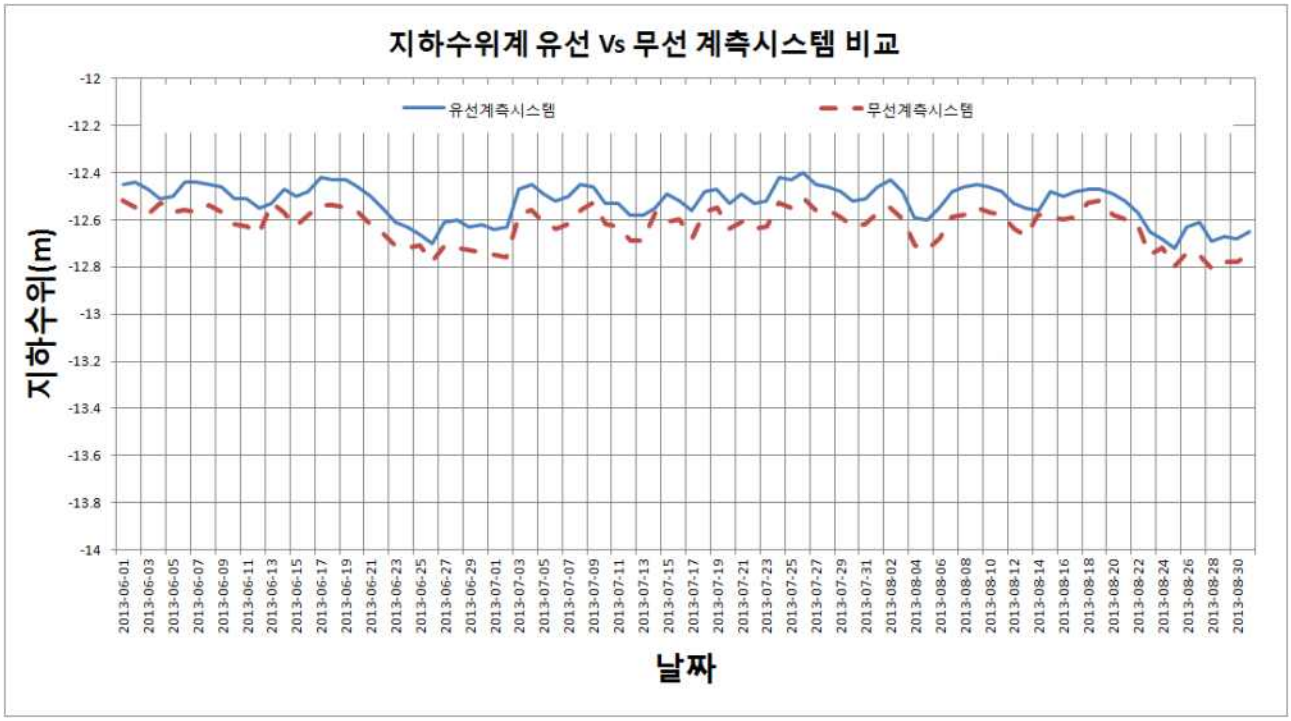
계측시간		깊이							
		0.0m		2.0m		4.0m		6.0m	
날짜	시간	유선	무선	유선	무선	유선	무선	유선	무선
2013-07-16	0:00	2.16	1.98	1.31	1.57	3.0	3.24	0.94	1.11
2013-07-17	0:00	1.76	2.13	1.6	1.81	2.76	2.94	0.75	0.94
2013-07-18	0:00	1.92	2.51	1.79	2.01	2.9	3.21	0.83	0.99
2013-07-19	0:00	2.30	2.59	1.87	2.01	2.55	2.74	0.92	1.15
2013-07-20	0:00	2.42	2.26	1.95	2.12	2.34	2.51	0.63	0.83
2013-07-21	0:00	2.04	2.43	1.85	1.59	2.47	2.68	0.78	0.94
2013-07-22	0:00	2.20	2.01	1.49	1.55	2.57	2.74	0.44	0.64
2013-07-23	0:00	1.76	1.78	1.5	1.83	2.61	2.68	0.55	0.73
2013-07-24	0:00	1.54	1.85	1.9	2.01	2.71	2.91	0.62	0.82
2013-07-25	0:00	1.63	2.13	1.95	2.13	2.57	2.77	0.7	0.98
2013-07-26	0:00	1.86	2.26	1.86	2.25	2.4	2.64	0.64	0.83
2013-07-27	0:00	2.04	2.3	1.75	2.15	2.47	2.62	0.38	0.54
2013-07-28	0:00	2.18	2.48	1.68	1.85	2.34	3.02	0.43	0.62
2013-07-29	0:00	2.27	2.45	1.66	1.93	2.35	2.68	0.68	0.87
2013-07-30	0:00	2.22	2.16	1.47	2.03	2.27	2.8	0.76	0.98
2013-07-31	0:00	1.91	2.24	1.69	2.24	2.36	3.05	0.63	0.86
2013-08-01	0:00	2.02	2.2	1.7	1.95	2.4	3.24	0.47	0.67
2013-08-02	0:00	2.07	2.34	1.71	2.05	2.47	2.97	0.59	0.8
2013-08-03	0:00	1.63	1.9	1.85	1.65	2.58	3.12	0.58	0.79
2013-08-04	0:00	1.71	2.01	1.9	1.57	2.6	2.78	0.73	0.94
2013-08-05	0:00	1.79	2.1	1.95	1.63	2.68	2.54	0.62	0.82
2013-08-06	0:00	1.80	2.31	1.96	1.86	2.34	2.68	0.35	0.54
2013-08-07	0:00	1.84	2.35	1.8	1.91	2.28	2.74	0.46	0.66
2013-08-08	0:00	1.85	2.31	1.79	2.13	2.33	2.86	0.67	0.87
2013-08-09	0:00	2.05	2.38	1.6	2.18	2.47	2.94	0.73	0.94
2013-08-10	0:00	2.18	2.48	1.55	2.21	2.54	2.98	0.68	0.89
2013-08-11	0:00	2.27	2.43	1.65	1.9	2.52	2.95	0.41	0.62
2013-08-12	0:00	2.22	2.15	1.66	1.96	2.59	2.75	0.53	0.74
2013-08-13	0:00	1.91	2.11	1.7	2.05	2.6	2.85	0.6	0.84
2013-08-14	0:00	1.85	2.05	1.78	1.56	2.73	2.81	0.76	0.96
2013-08-15	0:00	1.72	1.93	1.8	2.03	2.64	2.45	0.63	0.83
2013-08-16	0:00	1.62	1.85	1.63	1.83	2.58	2.51	0.77	0.98
2013-08-17	0:00	1.80	2.05	1.6	1.82	2.53	2.75	0.95	1.15
2013-08-18	0:00	1.87	2.07	1.55	1.78	2.44	2.78	0.56	0.74
2013-08-19	0:00	1.94	2.16	1.5	1.74	2.51	2.46	0.63	0.83
2013-08-20	0:00	1.93	2.13	1.6	1.85	2.59	2.54	0.72	0.98
2013-08-21	0:00	2.04	2.18	1.65	1.83	2.63	2.84	0.64	0.84
2013-08-22	0:00	2.20	2.4	1.7	1.83	2.71	2.8	0.43	0.63
2013-08-23	0:00	2.22	2.48	1.89	1.91	2.81	2.94	0.68	0.88
2013-08-24	0:00	1.88	2.08	1.9	2.23	2.78	3.1	0.76	0.95
2013-08-25	0:00	1.86	2.24	1.95	2.25	2.72	2.94	0.63	0.83
2013-08-26	0:00	1.73	1.9	1.97	2.24	2.54	2.74	0.47	0.67
2013-08-27	0:00	1.75	1.95	1.85	2.01	2.47	2.68	0.67	0.87
2013-08-28	0:00	1.80	2.06	1.8	2.04	2.45	2.61	0.72	0.95
2013-08-29	0:00	1.85	2.08	1.65	1.82	2.53	2.78	0.62	0.85
2013-08-30	0:00	1.89	2.38	1.67	1.9	2.64	2.84	0.69	0.88
2013-08-31	0:00	1.90	2.12	1.73	1.98	2.69	2.91	0.55	0.75

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교 - 계속>

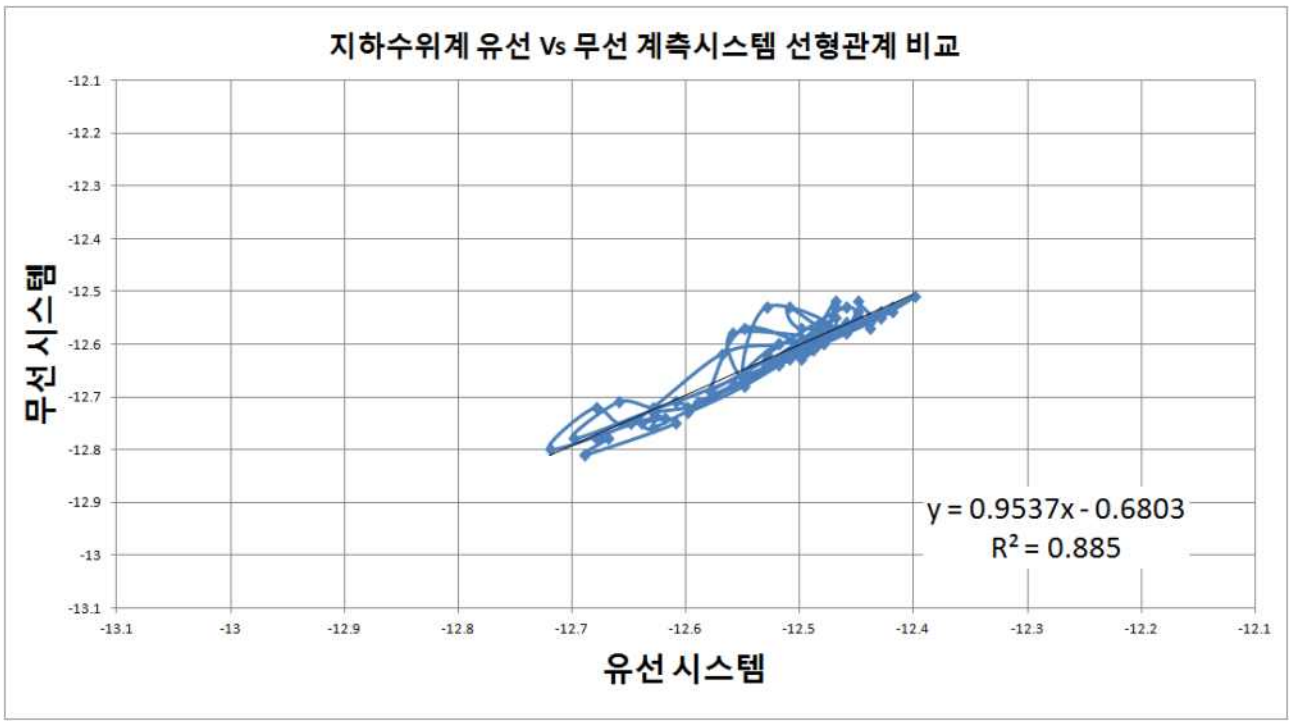
계측시간		깊이							
		8.0m		10.0m		12.0m		14.0m	
날짜	시간	유선	무선	유선	무선	유선	무선	유선	무선
2013-06-01	0:00	0.09	0.29	0.56	0.77	-0.32	-0.52	0	0
2013-06-02	0:00	0.21	0.42	0.61	0.82	-0.31	-0.53	0	0
2013-06-03	0:00	0.24	0.46	0.65	0.86	-0.28	0.48	0	0
2013-06-04	0:00	0.19	0.39	0.66	0.88	-0.26	-0.46	0	0
2013-06-05	0:00	0.07	0.25	0.6	0.85	-0.3	-0.52	0	0
2013-06-06	0:00	0.01	0.22	0.52	0.75	-0.39	-0.59	0	0
2013-06-07	0:00	0.15	0.35	0.61	0.82	-0.35	-0.55	0	0
2013-06-08	0:00	0.22	0.42	0.67	0.83	-0.33	-0.55	0	0
2013-06-09	0:00	0.26	0.48	0.68	0.89	-0.32	-0.54	0	0
2013-06-10	0:00	0.32	0.52	0.73	0.95	-0.3	-0.52	0	0
2013-06-11	0:00	0.29	0.45	0.73	0.93	-0.3	-0.5	0	0
2013-06-12	0:00	0.15	0.35	0.64	0.85	-0.33	-0.53	0	0
2013-06-13	0:00	0.18	0.34	0.62	0.83	-0.36	-0.56	0	0
2013-06-14	0:00	0.33	0.58	0.69	0.9	-0.34	-0.54	0	0
2013-06-15	0:00	0.37	0.57	0.74	0.92	-0.32	-0.54	0	0
2013-06-16	0:00	0.31	0.51	0.7	0.91	-0.33	-0.52	0	0
2013-06-17	0:00	0.37	0.58	0.74	0.98	-0.31	-0.51	0	0
2013-06-18	0:00	0.23	0.42	0.67	0.88	-0.32	-0.52	0	0
2013-06-19	0:00	0.15	0.35	0.56	0.79	-0.4	-0.62	0	0
2013-06-20	0:00	0.24	0.48	0.63	0.84	-0.37	-0.57	0	0
2013-06-21	0:00	0.31	0.52	0.68	0.88	-0.34	-0.54	0	0
2013-06-22	0:00	0.38	0.54	0.72	0.92	-0.32	-0.52	0	0
2013-06-23	0:00	0.45	0.67	0.77	0.99	-0.3	-0.51	0	0
2013-06-24	0:00	0.49	0.7	0.88	1.02	-0.29	-0.49	0	0
2013-06-25	0:00	0.52	0.72	0.85	1	-0.27	-0.47	0	0
2013-06-26	0:00	0.44	0.64	0.78	0.98	-0.28	-0.48	0	0
2013-06-27	0:00	0.48	0.67	0.79	0.99	-0.27	-0.47	0	0
2013-06-28	0:00	0.52	0.75	0.83	1.05	-0.26	-0.48	0	0
2013-06-29	0:00	0.34	0.55	0.68	0.88	-0.34	-0.55	0	0
2013-06-30	0:00	0.38	0.59	0.67	0.88	-0.39	-0.49	0	0
2013-07-01	0:00	0.49	0.66	0.77	0.93	-0.34	-0.56	0	0
2013-07-02	0:00	0.26	0.45	0.89	1.1	-0.31	-0.52	0	0
2013-07-03	0:00	0.15	0.28	0.83	1.05	-0.36	-0.54	0	0
2013-07-04	0:00	0.09	0.3	0.77	0.95	-0.34	-0.54	0	0
2013-07-05	0:00	0.03	0.28	0.81	1.03	-0.35	-0.55	0	0
2013-07-06	0:00	0.16	0.36	0.67	0.88	-0.37	-0.57	0	0
2013-07-07	0:00	0.23	0.48	0.75	0.98	-0.32	-0.52	0	0
2013-07-08	0:00	0.24	0.5	0.93	1.13	-0.25	-0.45	0	0
2013-07-09	0:00	0.36	0.59	0.65	0.81	-0.28	-0.4	0	0
2013-07-10	0:00	0.25	0.46	0.66	0.83	-0.26	-0.46	0	0
2013-07-11	0:00	0.13	0.35	0.6	0.8	-0.3	-0.5	0	0
2013-07-12	0:00	0.2	0.42	0.52	0.76	-0.39	-0.6	0	0
2013-07-13	0:00	0.35	0.54	0.61	0.81	-0.35	-0.55	0	0
2013-07-14	0:00	0.39	0.59	0.67	0.82	-0.33	-0.53	0	0
2013-07-15	0:00	0.26	0.44	0.68	0.88	-0.32	-0.54	0	0

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교 - 계속>

계측시간		깊이							
		8.0m		10.0m		12.0m		14.0m	
날짜	시간	유선	무선	유선	무선	유선	무선	유선	무선
2013-07-16	0:00	0.2	0.42	0.73	0.95	-0.3	-0.51	0	0
2013-07-17	0:00	0.13	0.23	0.73	0.95	-0.3	-0.52	0	0
2013-07-18	0:00	0.28	0.42	0.64	0.85	-0.33	-0.54	0	0
2013-07-19	0:00	0.33	0.59	0.62	0.86	-0.36	-0.56	0	0
2013-07-20	0:00	0.4	0.65	0.69	0.68	-0.34	-0.54	0	0
2013-07-21	0:00	0.48	0.68	0.74	0.99	-0.32	-0.52	0	0
2013-07-22	0:00	0.58	0.77	0.7	0.98	-0.33	-0.53	0	0
2013-07-23	0:00	0.45	0.66	0.74	0.92	-0.31	-0.53	0	0
2013-07-24	0:00	0.37	0.51	0.67	0.85	-0.32	-0.52	0	0
2013-07-25	0:00	0.38	0.53	0.56	0.76	-0.4	-0.6	0	0
2013-07-26	0:00	0.2	0.48	0.63	0.62	-0.37	-0.57	0	0
2013-07-27	0:00	0.24	0.51	0.68	0.88	-0.34	-0.56	0	0
2013-07-28	0:00	0.15	0.35	0.72	0.93	-0.32	-0.54	0	0
2013-07-29	0:00	0.35	0.57	0.77	0.95	-0.3	-0.51	0	0
2013-07-30	0:00	0.15	0.32	0.88	1.08	-0.29	-0.48	0	0
2013-07-31	0:00	0.18	0.3	0.85	1.05	-0.27	-0.45	0	0
2013-08-01	0:00	0.33	0.52	0.78	0.98	-0.28	-0.45	0	0
2013-08-02	0:00	0.37	0.57	0.79	0.98	-0.27	-0.48	0	0
2013-08-03	0:00	0.31	0.52	0.83	1.01	-0.26	-0.46	0	0
2013-08-04	0:00	0.37	0.56	0.68	0.88	-0.34	-0.54	0	0
2013-08-05	0:00	0.23	0.43	0.67	0.88	-0.39	-0.59	0	0
2013-08-06	0:00	0.15	0.24	0.75	0.96	-0.33	-0.53	0	0
2013-08-07	0:00	0.24	0.48	0.75	0.96	-0.38	-0.58	0	0
2013-08-08	0:00	0.31	0.52	0.66	0.85	-0.35	-0.55	0	0
2013-08-09	0:00	0.38	0.58	0.63	0.81	-0.32	-0.52	0	0
2013-08-10	0:00	0.45	0.68	0.78	0.99	-0.28	-0.48	0	0
2013-08-11	0:00	0.49	0.7	0.73	0.94	-0.25	-0.45	0	0
2013-08-12	0:00	0.52	0.74	0.62	0.83	-0.31	-0.53	0	0
2013-08-13	0:00	0.44	0.68	0.55	0.79	-0.4	-0.62	0	0
2013-08-14	0:00	0.45	0.72	0.68	0.88	-0.38	-0.58	0	0
2013-08-15	0:00	0.6	0.85	0.73	0.92	-0.26	-0.46	0	0
2013-08-16	0:00	0.65	0.89	0.75	0.96	-0.25	-0.45	0	0
2013-08-17	0:00	0.55	0.72	0.83	1.01	-0.28	-0.48	0	0
2013-08-18	0:00	0.51	0.62	0.85	1.03	-0.35	-0.56	0	0
2013-08-19	0:00	0.48	0.69	0.63	0.85	-0.43	-0.68	0	0
2013-08-20	0:00	0.43	0.65	0.77	0.97	-0.23	-0.48	0	0
2013-08-21	0:00	0.58	0.73	0.79	0.99	-0.27	-0.43	0	0
2013-08-22	0:00	0.63	0.82	0.72	0.93	-0.38	-0.58	0	0
2013-08-23	0:00	0.47	0.63	0.73	0.92	-0.35	-0.52	0	0
2013-08-24	0:00	0.38	0.52	0.68	0.88	-0.33	-0.5	0	0
2013-08-25	0:00	0.36	0.58	0.67	0.85	-0.32	-0.52	0	0
2013-08-26	0:00	0.29	0.43	0.7	0.92	-0.34	-0.54	0	0
2013-08-27	0:00	0.21	0.41	0.74	0.94	-0.3	-0.51	0	0
2013-08-28	0:00	0.34	0.53	0.63	0.88	-0.27	-0.48	0	0
2013-08-29	0:00	0.47	0.63	0.56	0.79	-0.2	-0.42	0	0
2013-08-30	0:00	0.3	0.54	0.55	0.75	-0.3	-0.53	0	0
2013-08-31	0:00	0.28	0.49	0.68	0.88	-0.32	-0.55	0	0



<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 장기계측 결과 비교 >



<지중경사계 유선 Vs 무선 계측시스템 선형관계 비교 >

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교>

계측시간		지하수위	
날짜	시간	유선	무선
2013-06-01	0:00	-12.45	-12.52
2013-06-02	0:00	-12.44	-12.55
2013-06-03	0:00	-12.47	-12.58
2013-06-04	0:00	-12.51	-12.53
2013-06-05	0:00	-12.5	-12.57
2013-06-06	0:00	-12.44	-12.56
2013-06-07	0:00	-12.44	-12.57
2013-06-08	0:00	-12.45	-12.54
2013-06-09	0:00	-12.46	-12.57
2013-06-10	0:00	-12.51	-12.62
2013-06-11	0:00	-12.51	-12.63
2013-06-12	0:00	-12.55	-12.66
2013-06-13	0:00	-12.53	-12.53
2013-06-14	0:00	-12.47	-12.57
2013-06-15	0:00	-12.5	-12.63
2013-06-16	0:00	-12.48	-12.58
2013-06-17	0:00	-12.42	-12.54
2013-06-18	0:00	-12.43	-12.54
2013-06-19	0:00	-12.43	-12.55
2013-06-20	0:00	-12.46	-12.57
2013-06-21	0:00	-12.5	-12.62
2013-06-22	0:00	-12.55	-12.66
2013-06-23	0:00	-12.61	-12.71
2013-06-24	0:00	-12.63	-12.72
2013-06-25	0:00	-12.66	-12.71
2013-06-26	0:00	-12.7	-12.78
2013-06-27	0:00	-12.61	-12.71
2013-06-28	0:00	-12.6	-12.72
2013-06-29	0:00	-12.63	-12.73
2013-06-30	0:00	-12.62	-12.74
2013-07-01	0:00	-12.64	-12.75
2013-07-02	0:00	-12.63	-12.76
2013-07-03	0:00	-12.47	-12.58
2013-07-04	0:00	-12.45	-12.56
2013-07-05	0:00	-12.49	-12.61
2013-07-06	0:00	-12.52	-12.64
2013-07-07	0:00	-12.5	-12.62
2013-07-08	0:00	-12.45	-12.56
2013-07-09	0:00	-12.46	-12.53
2013-07-10	0:00	-12.53	-12.62
2013-07-11	0:00	-12.53	-12.63
2013-07-12	0:00	-12.58	-12.69
2013-07-13	0:00	-12.58	-12.69
2013-07-14	0:00	-12.55	-12.57
2013-07-15	0:00	-12.49	-12.61

<지중경사계 깊이별 유선 Vs 무선 계측시스템 결과비교 - 계속>

계측시간		지하수위	
날짜	시간	유선	무선
2013-07-16	0:00	-12.52	-12.6
2013-07-17	0:00	-12.56	-12.68
2013-07-18	0:00	-12.48	-12.57
2013-07-19	0:00	-12.47	-12.55
2013-07-20	0:00	-12.53	-12.64
2013-07-21	0:00	-12.49	-12.61
2013-07-22	0:00	-12.53	-12.64
2013-07-23	0:00	-12.52	-12.63
2013-07-24	0:00	-12.42	-12.53
2013-07-25	0:00	-12.43	-12.55
2013-07-26	0:00	-12.4	-12.51
2013-07-27	0:00	-12.45	-12.56
2013-07-28	0:00	-12.46	-12.56
2013-07-29	0:00	-12.48	-12.59
2013-07-30	0:00	-12.52	-12.63
2013-07-31	0:00	-12.51	-12.62
2013-08-01	0:00	-12.46	-12.57
2013-08-02	0:00	-12.43	-12.55
2013-08-03	0:00	-12.48	-12.6
2013-08-04	0:00	-12.59	-12.71
2013-08-05	0:00	-12.6	-12.73
2013-08-06	0:00	-12.55	-12.68
2013-08-07	0:00	-12.48	-12.59
2013-08-08	0:00	-12.46	-12.58
2013-08-09	0:00	-12.45	-12.55
2013-08-10	0:00	-12.46	-12.57
2013-08-11	0:00	-12.48	-12.58
2013-08-12	0:00	-12.53	-12.64
2013-08-13	0:00	-12.55	-12.67
2013-08-14	0:00	-12.56	-12.58
2013-08-15	0:00	-12.48	-12.59
2013-08-16	0:00	-12.5	-12.6
2013-08-17	0:00	-12.48	-12.59
2013-08-18	0:00	-12.47	-12.53
2013-08-19	0:00	-12.47	-12.52
2013-08-20	0:00	-12.49	-12.58
2013-08-21	0:00	-12.52	-12.6
2013-08-22	0:00	-12.57	-12.62
2013-08-23	0:00	-12.65	-12.75
2013-08-24	0:00	-12.68	-12.72
2013-08-25	0:00	-12.72	-12.8
2013-08-26	0:00	-12.63	-12.74
2013-08-27	0:00	-12.61	-12.75
2013-08-28	0:00	-12.69	-12.81
2013-08-29	0:00	-12.67	-12.78
2013-08-30	0:00	-12.68	-12.78
2013-08-31	0:00	-12.65	-12.75

② 유사 구조물 변형 발생 현장 - 구조물 가설벤트

구조물 가설벤트의 경우 구조물의 시공중에 활하중 보다는 사하중이 재하되는 구조물이기 때문에 플랜트 지반의 변형에 따른 상부 구조의 변형을 가장 유사하게 시뮬레이션 할 수 있는 구조물로 선정하였음. 따라서 이에 u-GISN 및 유선 계측시스템을 설치하여 u-GISN의 성능 및 신뢰성을 분석함.

1. 센서 설치 위치 선정을 위한 가설벤트 분석

가설벤트 계측을 위한 일반적인 사항은 다음과 같다.

(1) 계측기 설치 후 계측빈도에 준하여 계측을 수행한다.

(2) 설치된 계측기의 데이터 값을 지속적으로 측정 및 관리함으로서 각각의 변위를 파악하고, 유지관리를 위한 자료로 활용한다.

(3) 계측 데이터는 단순히 수치로 표현하는 것이 아니라 그래프로 표시하여 전체의 경향 및 흐름을 파악하는 자료로 활용한다.

(4) 설치된 계측기와 계측 케이블이 손상 및 망실되지 않도록 주의 하여야 하며, 손상시 즉각적으로 처리하여 계측 데이터의 연속성을 유지하여야 한다.

(5) 계측 관리자는 계측 데이터를 취득하여 계측 담당자에게 보고하여야 하며, 계측 데이터의 이상이 있다고 판단될 때에는 즉시 보고하여야 한다.

(6) 계측 데이터 값에 이상이 있을시 이것이 계측센서 및 시스템의 문제인지 아니면 실제 변위량인지 파악하여 담당자에게 보고한다.

(7) 계측 관리자는 시공중에 발생할 수 위험요소를 사전에 예방하기 위하여 계측을 수행하는 것이므로 계측 수행에 만전을 기해야 한다.

2. 계측항목 선정

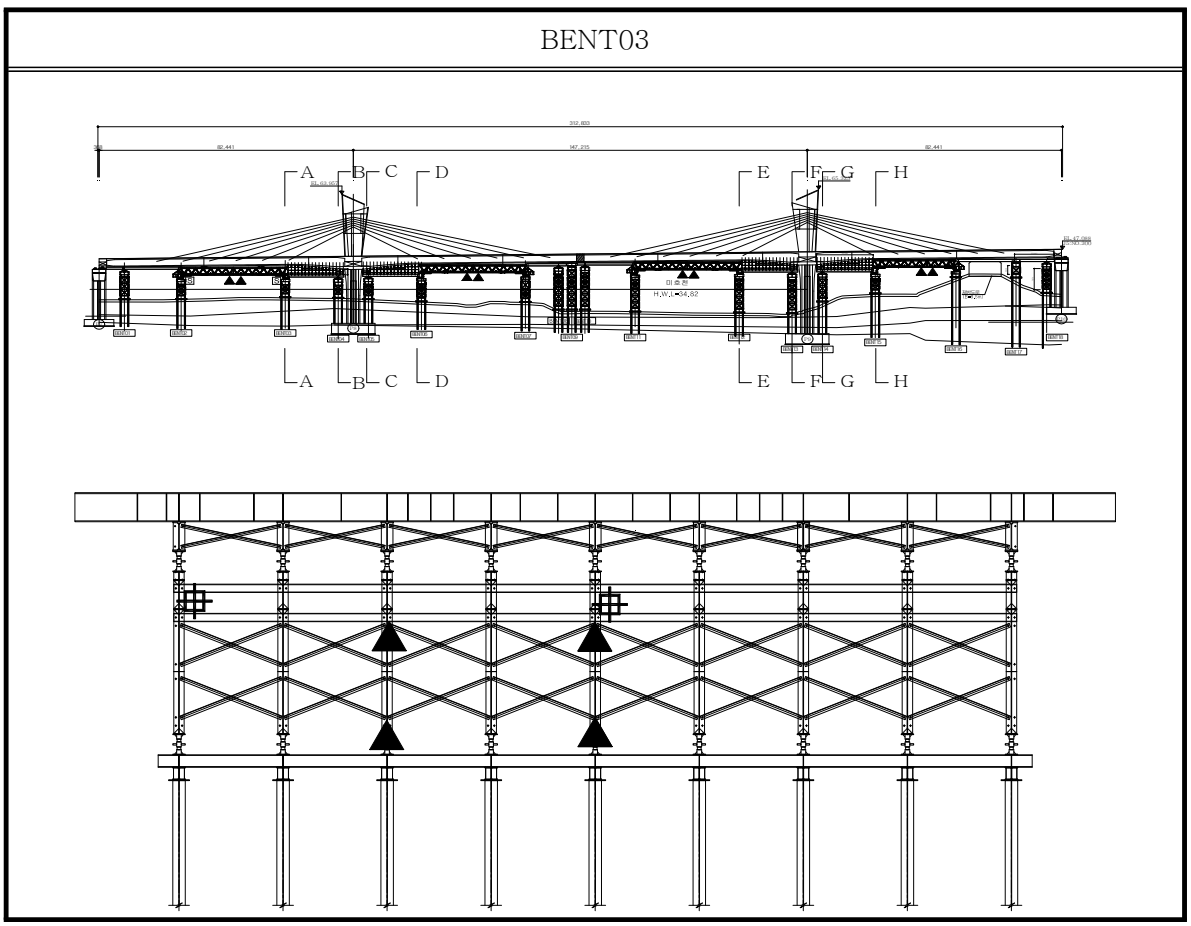
계측항목 및 수량은 현장 상황 및 설계자료를 충분히 검토하여 결정하였으며, 계측기기에 의한 자동화 계측을 수행한다.

<계측항목 선정>

계측 항목	계 측 목 적	비 고
정적변형률계	가설벤트 부재의 정적변형률 측정	
2축 경사계	가설벤트 경사변위 측정	

3. 계측 위치

계측기로부터 전달되는 신호는 구조물에 대한 응답으로서의 의미를 가지며, 구조물의 손상에 대한 정보를 제공한다. 그러나 구조물의 전 부분에 대하여 계측기를 설치하는 것은 비용과 효율성을 고려할 때 적절하지 않으므로 계측기가 설치된 특정 위치에 대한 제한된 정보만을 이용하여 구조물 전체에 대한 응답을 추정하여야 한다. 따라서 구조물의 특성이 가장 잘 반영되는 위치에 계측기를 설치하여야 하며, 계측위치 선정은 계측의 성패에도 큰 영향을 미치게 된다.



<계측기 배치도>

4. 계측기 선정

4.1 변형률계

(1) 측정 목적

변형률계는 부재의 국부적인 변형률을 측정하여 응력상태를 분석하는 용도로 사용된다. 센서의 종류는 현장 적용성과 내구성이 우수하며, 경제적인 진동현식 센서를 적용하고자 한다.

(2) 설치방법

구 분	설 치 순 서	설 치 내 용
1	사용자재 반입	➡ 당일 반입자재 확인 및 검수
2	설치위치 선정	➡ 정적 변형률계의 설치위치 확인 ➡ 설치위치에 표시(락카/분필 마킹)
3	설치면 고르기	➡ 그라인더 등의 장비로 설치면 정리
4	센서 설치	➡ 설치면에 용접을 통해 변형률계 고정 ➡ 센서 설치시 충격이 가해지지 않도록 주의하여 설치.
5	케이블링	➡ 센서 설치가 완료되면 연장케이블을 데이터로거까지 케이블링 ➡ 케이블링시 보호관을 미리 설치하여 케이블 보호
6	초기치 설정	➡ 초기치 설정(케이블링 후 최소 한시간 이상 경과 후) : 센서의 안정된 상태를 확인 후 초기치 설정
7	계측수행	➡ 계측빈도에 준하여 계측실시.

(3) 사양

구 분	VW 9787	사양
선정센서		□ 제 작 사 : (주)지오엘피스 □ 형 식 : Vibrating Wire Type □ 허용온도 : -20℃~70℃ □ Range : 3000$\mu\epsilon$ □ 정 밀 도 : ±0.5% F.S.

(4) 계측기 설치상세도



4.2 경사계

(1) 측정 목적

경사계는 교량 교각의 미세한 경사변위를 정밀하게 측정할 수 있어야 하며, 장기간 사용이 가능한 Servo-accelerometer type을 사용하고자 한다.

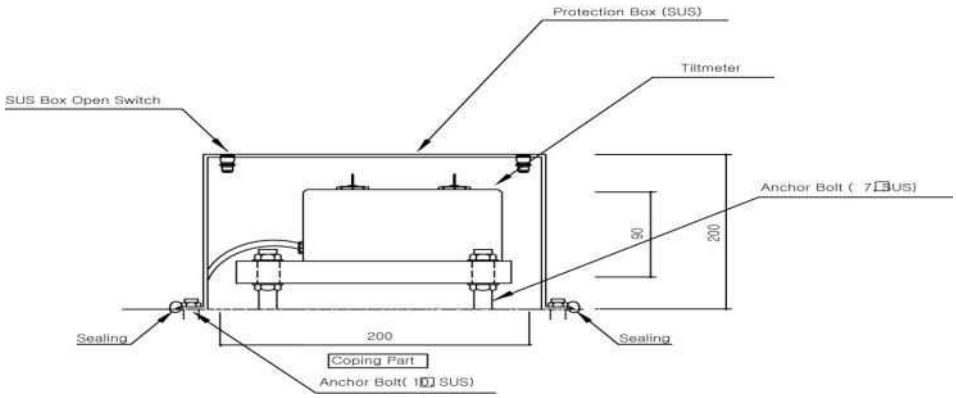
(2) 설치방법

구 분	설 치 순 서	설 치 내 용
1	사용자재	➡ 당일 반입자재 확인 및 검수 : 검교정 성적서
2	설치위치 선정	➡ 경사계 설치위치 확인 ➡ 설치위치에 표시 (락카/분필 마킹)
3	설치면 고르기	➡ 그라인더 등의 장비로 설치면 정리
4	고정용 지그설치	➡ 설치면에 용접을 이용하여 지그 고정
5	센서 설치	➡ 경사계 센서를 수평이 유지되도록 거치 ➡ 센서 설치시 충격이 가해지지 않도록 주의하여 설치
6	케이블링	➡ 케이블은 설치전 cable tester로 이상 유무 확인 ➡ 센서 설치가 완료되면 연장케이블을 데이터로거까지 케이블링 ➡ 케이블의 양끝은 번호를 표시하여 유지관리가 용이하도록 함
7	초기치 측정	➡ 경사계 센서의 Connector를 수동측정기에 연결하고 Mounting Stude의 너트를 이용하여 초기치를 설정
8	계측수행	➡ 계측빈도에 준하여 계측실시

(3) 사양

구 분	CUBE-D-MV	사양
선정센서		□ 제 작 사 : DAS □ 측정방식 : Servo-Accelerometer Type □ 측정용량 : ± 5° □ 허용온도 : -25 ~ +85℃

(4) 설치상세도



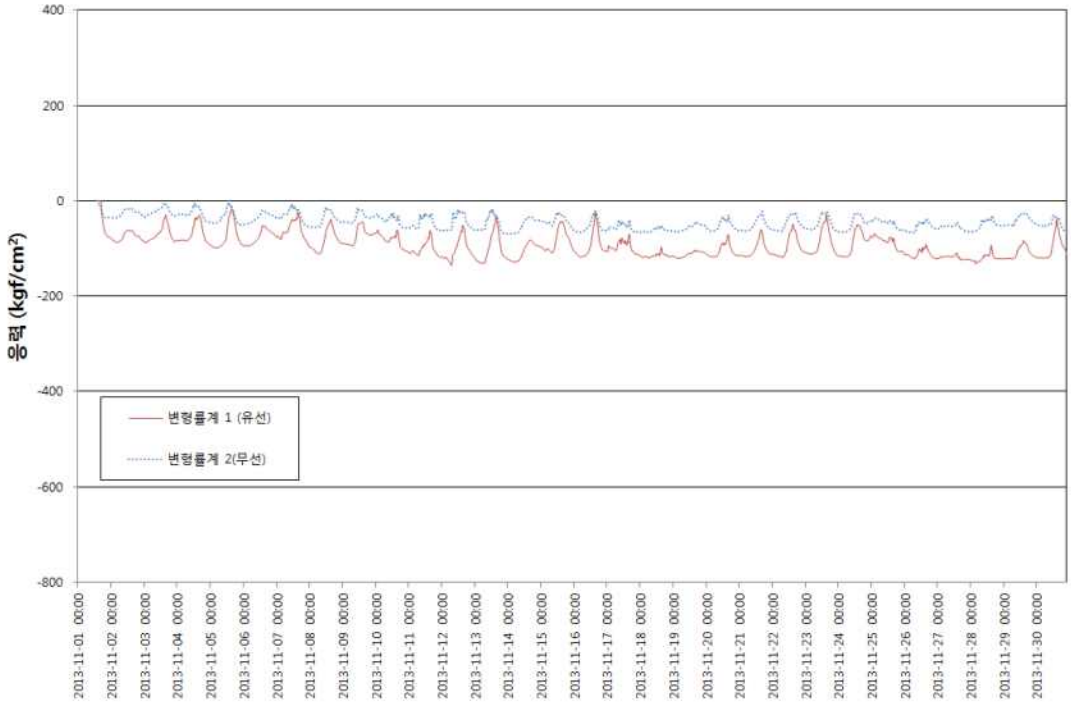


5. 계측결과 비교

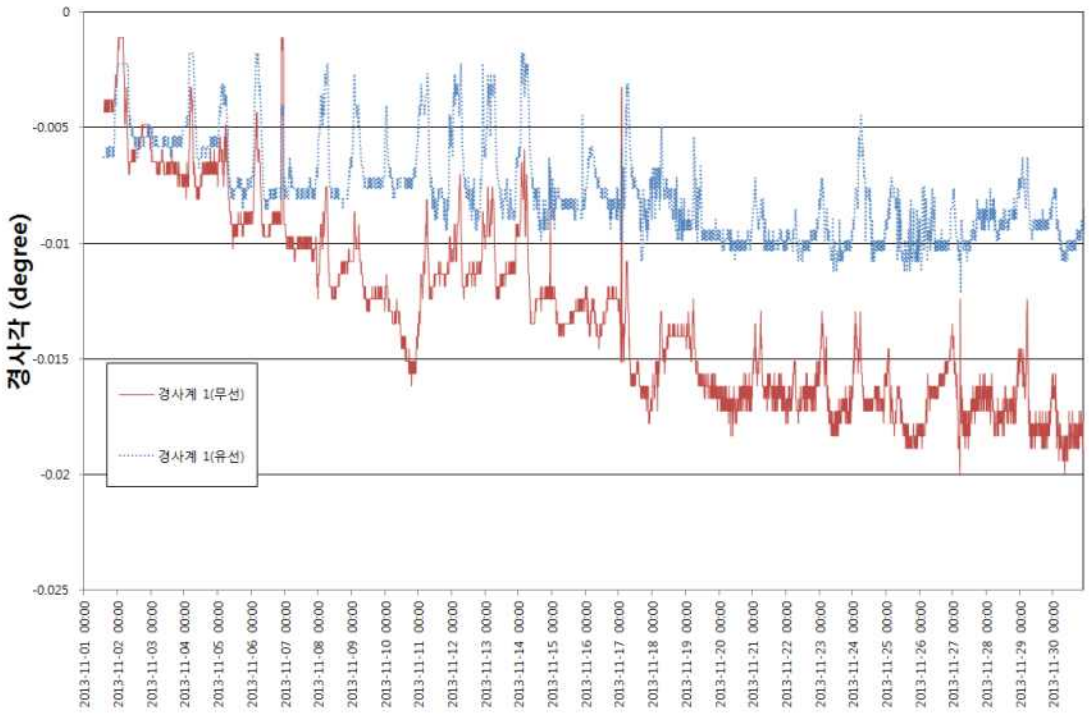
유/무선 계측시스템 간의 성능 비교를 위해 교량 가설벤트 현장에 변형률계와 경사계 센서를 각각 1개씩 부착하여 한달 간(2013년 11월 1일 ~ 2013년 11월 30일)의 계측을 수행하였다.

정적변형률계와 경사계 모두, 10분에 1회 계측되는 계측빈도를 가지고 데이터를 취득하였다. 하지만, 아래의 그림에서 보면 유선 및 무선 시스템으로부 터 측정된 데이터간의 좌우 수평 편차를 보이는 데, 이는 유선 및 무선 시스템에서 사용된 데이터로거의 내부 Clock의 차이에 의한 것으로 판단된다.

이는 추후 하나의 Beacon을 이용하여 내부 Clock을 동기화 시키면 문제는 해결될 것으로 판단된다. 또한, 데이터간의 상하 수직 편차는 데이터취득에 사용되는 로거간의 사양차에서 오는 것으로, 일반적으로 계측시스템으로 활용되는 유선 계측시스템을 기준으로 생각할 경우, 무선 시스템에서 발생하는 수직 편차의 해결방안을 모색하는 것이, 플랜트지반 u-GISN 솔루션의 상용화와 일반화를 앞당기는데 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다.



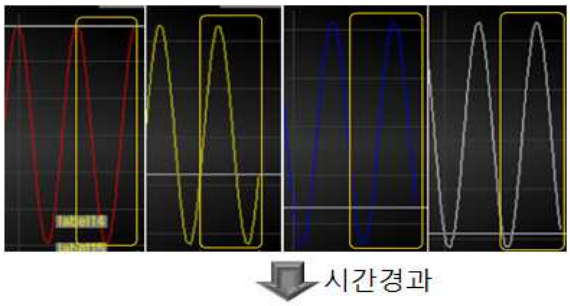
<유/무선 계측시스템 간의 변형률 장기계측 결과 비교>

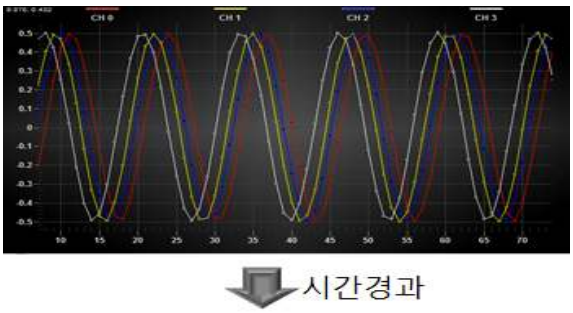


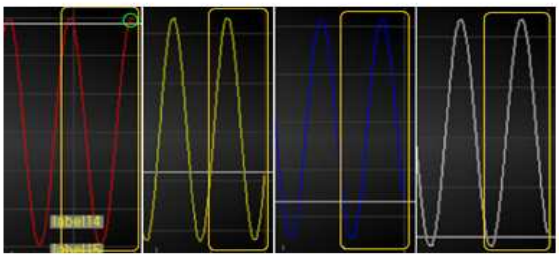
<유/무선 계측시스템 간의 경사계 장기계측 결과 비교>

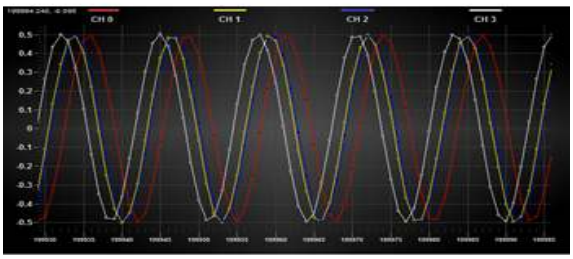
▪ 통신 및 데이터 신뢰성 검증 및 성능 보완(한국플랜트 관리)

- 기존에 개발 된 무선 통신 데이터로거는 장시간 무선 통신 환경에서 시간의 경과에 따라 그래프의 파형이 변화되는 현상이 발생하였음.
- 무선 통신으로 AP에 Data를 송신하고, AP에서 유선 통신을 통해 Local System으로 Data를 전달되는 구조로 설계 되었으나, Data 전달과정에서 오차가 발생되는 문제를 발견하였음.
- 기존에 개발 된 무선 통신 데이터로거의 Clock과 관련하여 오차가 발생하였으며, 당해년도 연구를 통해 개발된 방폭형 무선 통신 데이터로거에서는 정밀 RTC IC 회로 설계/제작을 통해 Clock문제를 해결하였음.
- 다만 보완이후 추가 검증이 이루어지지 않아 이를 위해 3차년도에 추가적으로 검증실험을 통해 공인시험성적서 발급을 통해 신뢰성을 확보하고자 한다.









<무선 통신 데이터 로거 성능 보완 전>

<무선 통신 데이터 로거 성능 보완 후>

5. u-GISN 시술을 활용한 시제품 개발

(1) 개발된 데이터로거 성능 보완

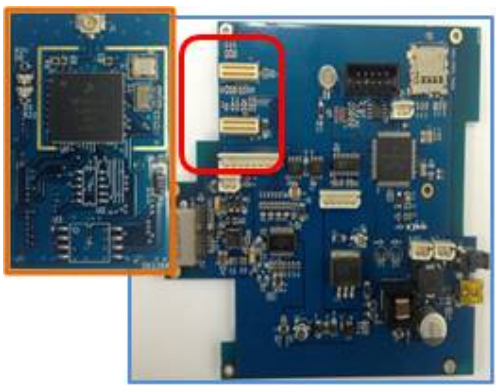
- 테스트베드를 통해 통신 및 데이터 신뢰성 검증 및 성능 보완

⇒ Chamber를 통해서 -20℃ ~ 80℃의 온도변화에 다른 그래프 파형 변화를 측정함으로써 무선 통신 데이터로거의 데이터 신뢰성 및 성능 검증을 수행하였음. 온도 변화에 따른 그래프 파형 변화는 없었으며, 온도 변화에 따른 성능의 변화가 없음을 확인할 수 있었음



<온도 변화에 따른 성능 검증>

⇒ 방폭형 데이터 로거의 ISA100 통신 및 계측 모듈을 소형화하여 적용하였음



<ISA100 통신 및 계측 모듈>



<방폭형 ISA100 통신 및 계측 모듈>

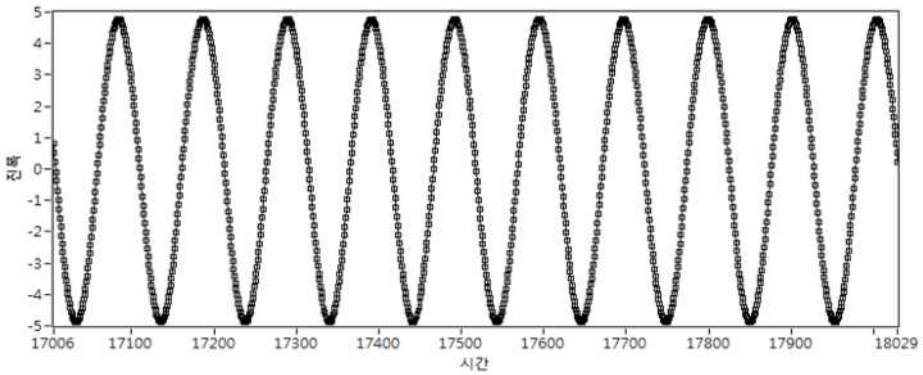
⇒ 당해연도 연구를 통해 제작 된 방폭 재질의 시제품(방폭 데이터로거)을 테스트베드에 구축하고 성능을 검증하였음



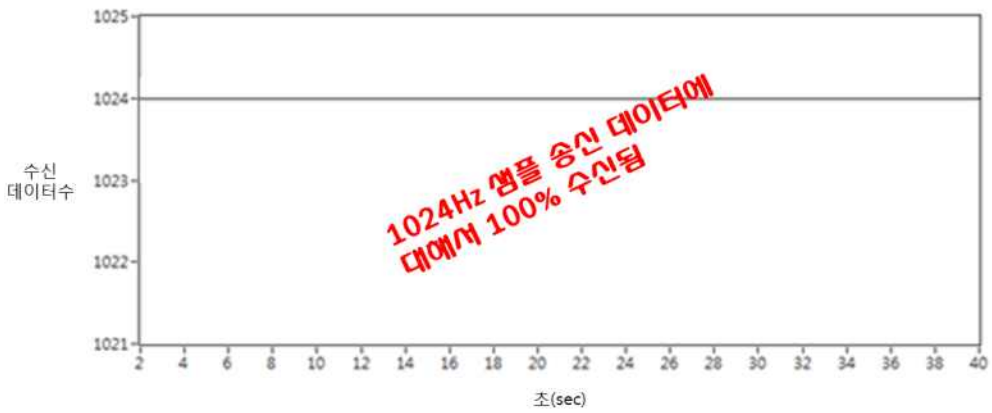
<여수 국가산업단지 플랜트 현장 테스트베드 구축 현황>

⇒ 무선센서노드 및 게이트웨이 간 통신 테스트 수행을 통한 통신 검증함

- 무선 데이터로거와 함수 발생기를 연결하고 1Hz Sin파를 인가하고 1024Hz의 샘플링으로 취득 시험 수행하였으며, 데이터의 누락 없이 데이터가 취득됨을 확인할 수 있었음



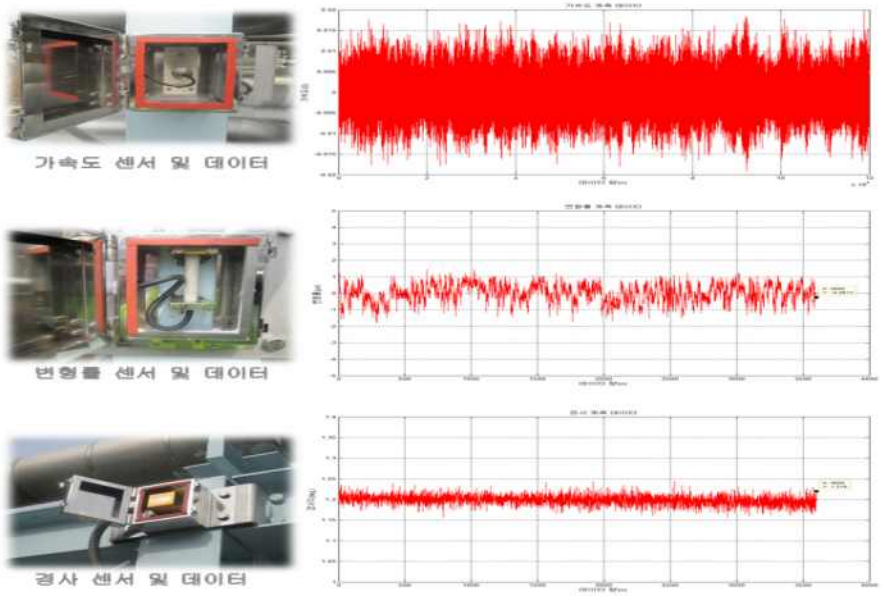
<함수 발생기 1Hz Sin파 인가>



< 무선센서노드 및 게이트웨이 간 통신 테스트 >

⇒ 다종의 구조물 계측 센서와 연동한 데이터 취득 시험을 수행함

- 적용센서는 가속도계, 변형률계, 경사계이며, 동적 데이터(가속도)는 512Hz, 정적 데이터(변형률, 경사)는 각 1Hz의 샘플링으로 취득됨을 확인할 수 있었으며, 무선 센서노드 및 게이트웨이 간의 통신이 정상으로 이뤄지고 있음을 알 수 있었음

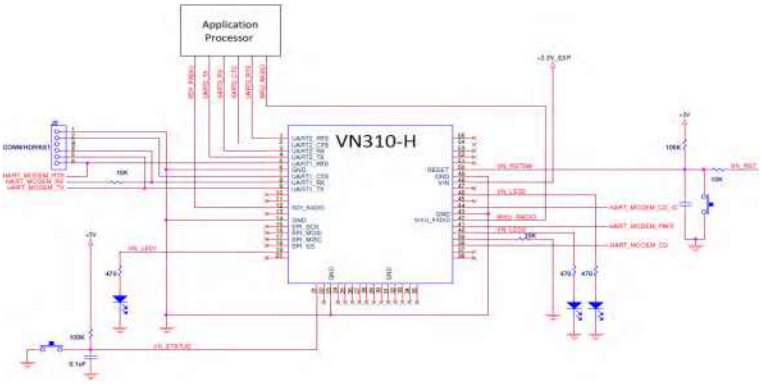


<테스트베드 계측센서별 데이터 예>

▪ 다양한 센서에 연동 가능한 인터페이스 모듈 기능 추가

⇒ 방폭형 데이터 로거(OmniCube-Ex)의 주요 구성은 근거리 무선 통신을 위한 ISA100.11a 통신부, 장거리 통신을 위한 LTE 통신부, 칩셋을 컨트롤하고 데이터를 주고받기 위한 MCU부, 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 ADC부, 시각동기화를 위한 RTC부, 센서의 DATA를 저장하기 위한 외부 저장 메모리부, 그리고 전원공급부로 구성되었음.

⇒ ISA100.11a 통신부의 센서 네트워크 플랫폼은 배터리를 사용하여 전원을 공급하게 되므로 낮은 동작전압을 지원하며, 장기간 사용을 위한 저전력 소모 기능을 추가하였으며, 또한 작은 크기의 디바이스 구성을 위해 Package도 소형으로 구성하였음.

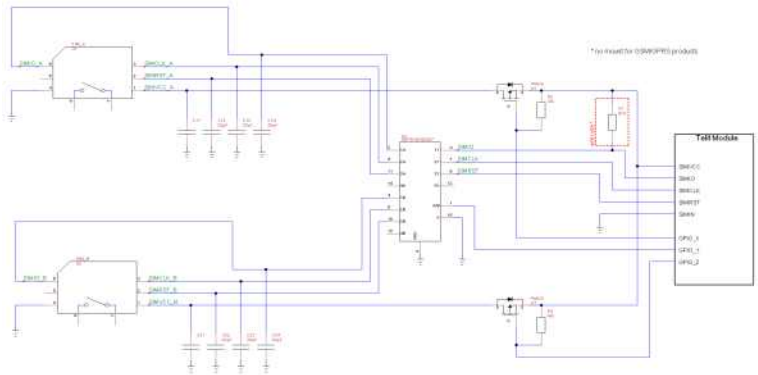


<ISA100.11a 통신 모듈 회로도>



<ISA100.11a 통신 모듈>

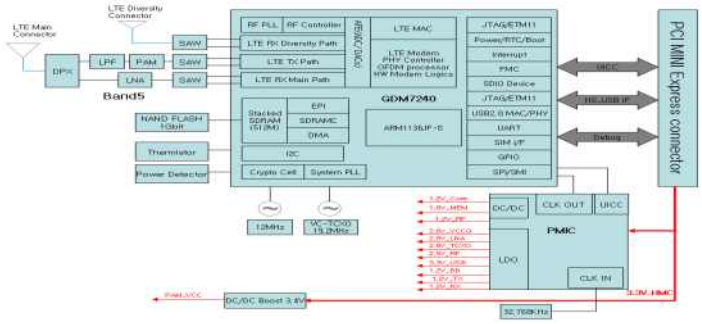
⇒ LTE 통신부는 센서에서 수집한 데이터를 원거리로 전송하기 위해 LTE 850MHz(Band 5) Single Band 대역을 지원하는 LTE 통신 모듈 사용하였으며, LTE(Band 5) 대역은 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)을 기반으로 Diversity를 지원하고 3GPPTS 36.101/35.521의 규격을 준수하였음.



<LTE 통신 모듈 회로도>

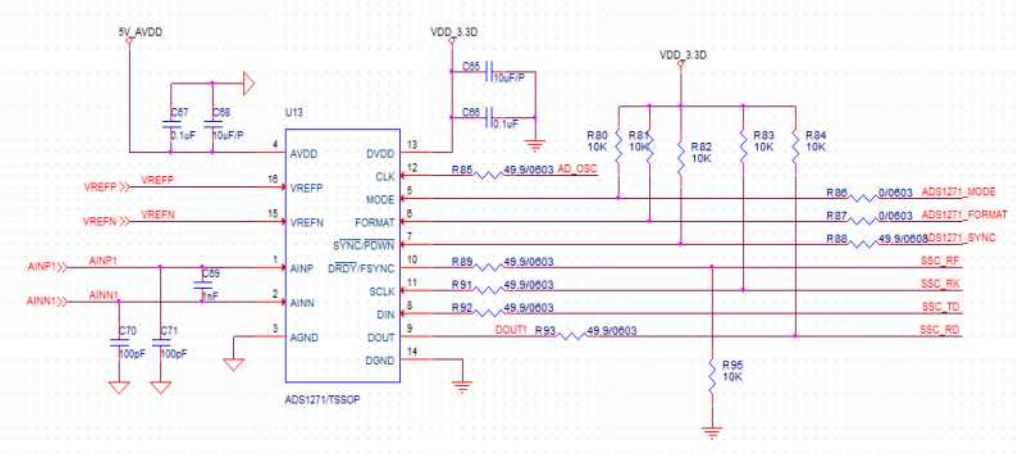


<LTE 통신 모듈>

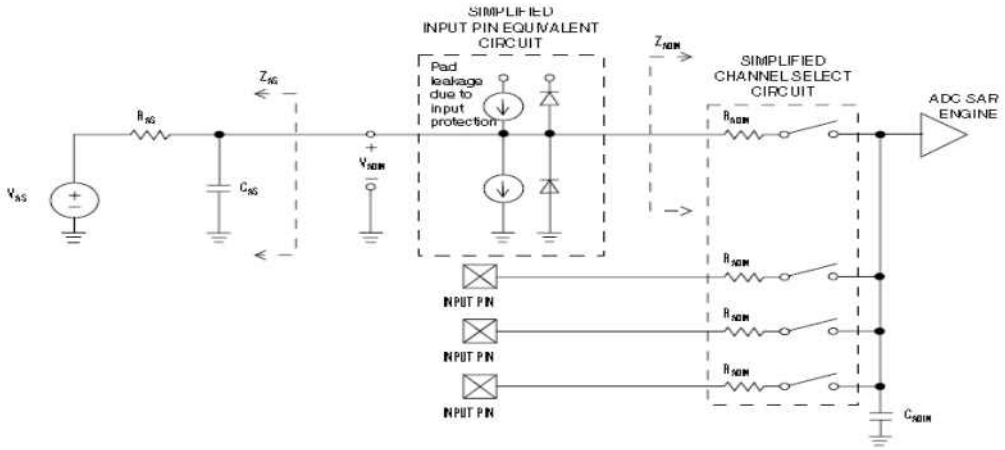


<LTE 통신 모듈 Block Diagram>

⇒ ADC부는 최신 Analog-to-Digital Converter IC를 사용하여 기존 ADC보다 센서 입력 신호에 대한 분해능 향상시켰으며, ADC Data Converter Rate는 최대 461Ksps로 고속 가속도 측정을 위한 최상의 샘플링을 설정하였음. ADC Performance는 51kHz Bandwidth와 109dB SNR이며, DC Accuracy는 1.8uV/℃ Offset Drift, 2ppm/℃ Gain Drift 임.

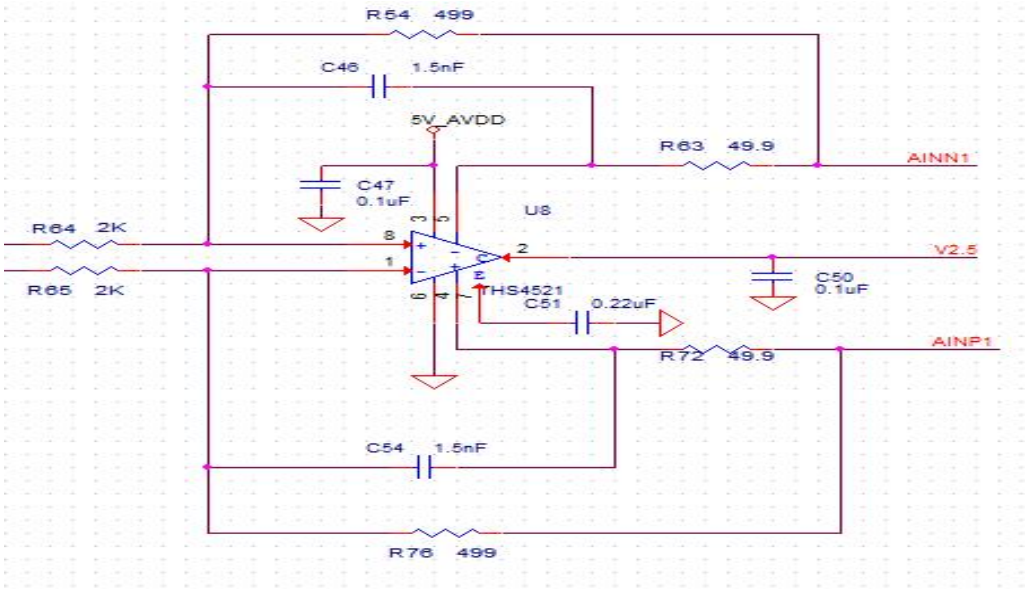


< ADC 회로도>



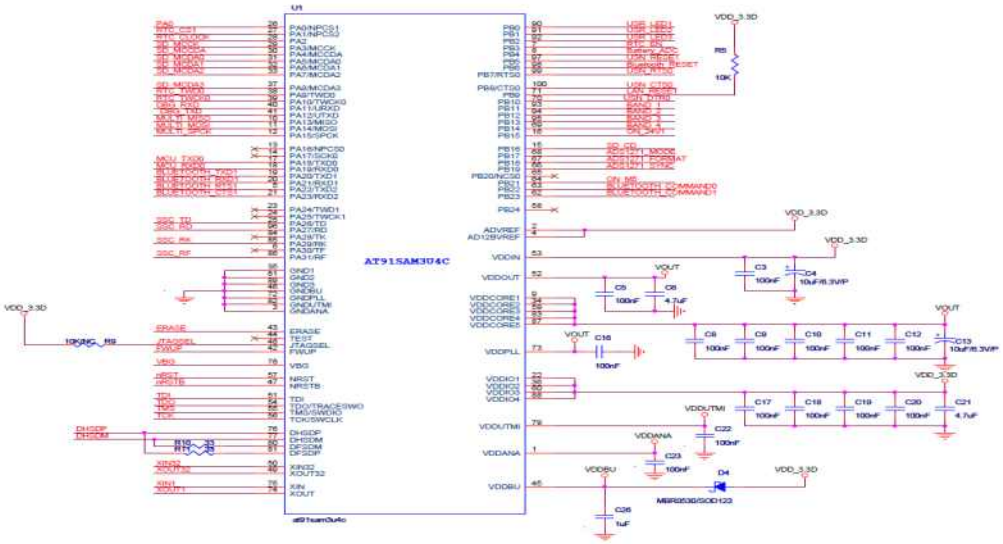
< ADC Block Diagram >

⇒ 증폭부는 Fully Differential Amplifier를 사용하여 데이터 측정 시 노이즈 성분 제거와 Low-Power Differential Signal Conditioning 회로를 구성하여 배터리 사용전력을 최소화하였음.



< 증폭부 회로도>

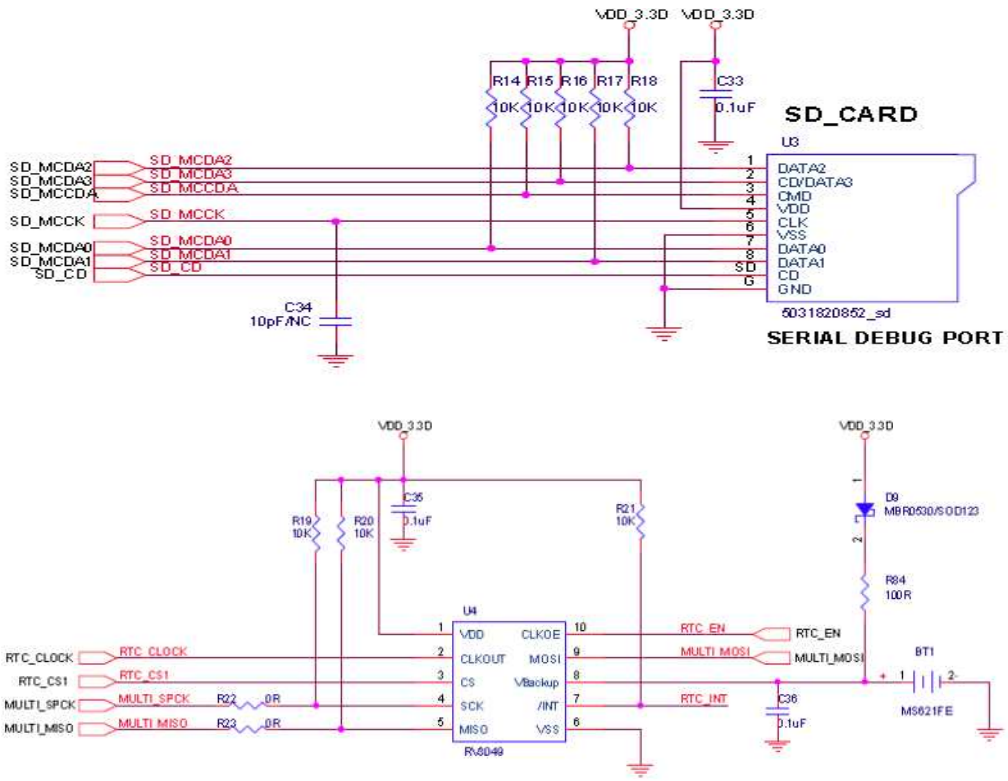
⇒ MCU 최신의 32bit ARM Cortex-M4를 사용하여 고속의 가속도 측정 및 Data 저장을 동시에 가능하며, 에너지 절약을 위해 초저전력의 솔루션을 적용하였음. 또한, 100MHz Maximum Operating Frequency and High Data-bandwidth architecture based on a 5-layer bus matrix with 16-DMA channels를 이용하여 Data 전송 시 문제가 발생할 수 있는 Data 병목 현상을 최소로 할 수 있도록 설계/제작하였음.



< MCU부 회로도>

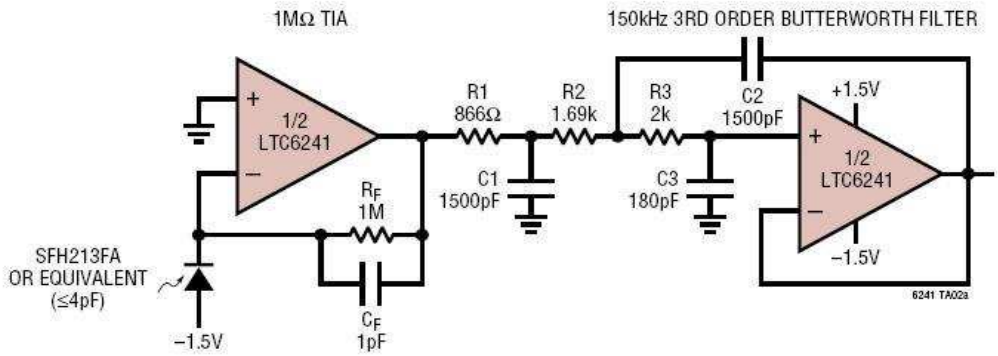
⇒ 시각 동기화를 위한 RTC부는 정밀 RTC(Real Time Clock) IC를 사용하여 센서 Data 측정 시 측정 시점의 시간과 Data를 함께 전송하여 전송 시 발생할 시간 Delay를 제거함으로써 다른 센서와 동시 분석 시 동기화 문제를 해결 할 수 있도록 설계/제작되었음.

⇒ 메모리부는 센서 Data Back up을 위한 외부저장메모리(SD CARD)를 설계/제작하여 적용하였음.

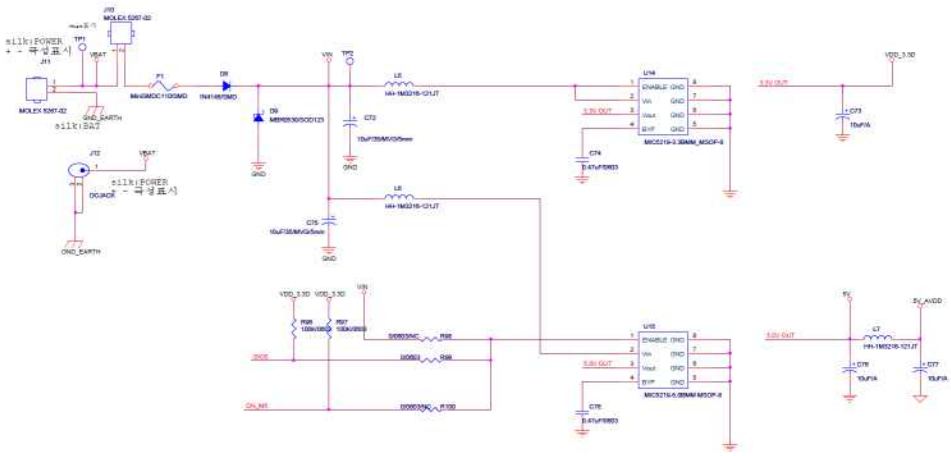


< RTC와 외부저장(SD CARD부 회로도 >

⇒ 전원부는 배터리를 사용하는 무선 제품으로써 전력을 효율적으로 사용하기 LDO Regulator를 사용하였으며, 센서 데이터 계측에 영향을 최소로 하기 위해 Ultra-low-noise output를 적용하였음.



< Ultra Low Noise Fixed Regulator >



< 전원부 회로도>

▪ 센서 데이터 분석 S/W 개발

⇒ 계측 센서 데이터의 실시간 모니터링, 과거 데이터 이력 조회 기능 및 데이터 분석 기능이 포함된 센서 데이터 분석 S/W '유비쿼터스 스마트 안전관리 통합시스템'을 개발 제작하였음

⇒ 안전관리 통합시스템은 테스트베드에 구축된 방폭형 데이터로거에 의해 수집/전송된 계측데이터를 실시간 모니터링이 가능하며, 과거데이터 이력 조회를 통해 Analysis Report 생성을 수행할 수 있도록 개발/제작하였음

⇒ Analysis Report는 선택된 정보에 해당되는 데이터를 로딩하여 계측 데이터 상태를 사용자에게 제공하며, 계측 데이터 자동분석을 통해 해당 구조물의 상태를 판단할 수 있는 정보를 제공함. 또한, 안전관리 시스템의 점검사항 및 유지관리 이력, 특이사항 등을 기록 할 수 있는 기능을 추가하여 관리의 효율성을 극대화 할 수 있도록 제작하였음



<안전관리 통합시스템 예>



<Analysis Report 예>

(2) 플랜트 현장에 적용 가능한 방폭 재질의 시제품 제작 및 성능 검증

- 내압 방폭 규정인 EX d ⅡC T5 IP68 규정을 만족하도록 제작

  ⇒ 한국가스안전공사 방폭인증부와 협의를 수행하였음(1차년도)

  ⇒ 내압 방폭 규정(EX d ⅡC T5 IP68)에 맞도록 설계, 제작하여 한국가스안전공사 방폭인증부를 통해 방폭 인증 신청함



방폭 인증 내용

내압방폭(d)-ⅡC – T5 – IP68

- D : 내압방폭(FlameProof)
- Ⅱ : 석유화학등 일반산업
- C : 수소-아세틸랜, 틈새 <0.5mm
- T5 : <100도 동작
- IP68 : 고체침투 완전내진
  수중에서의 연속사용 조건

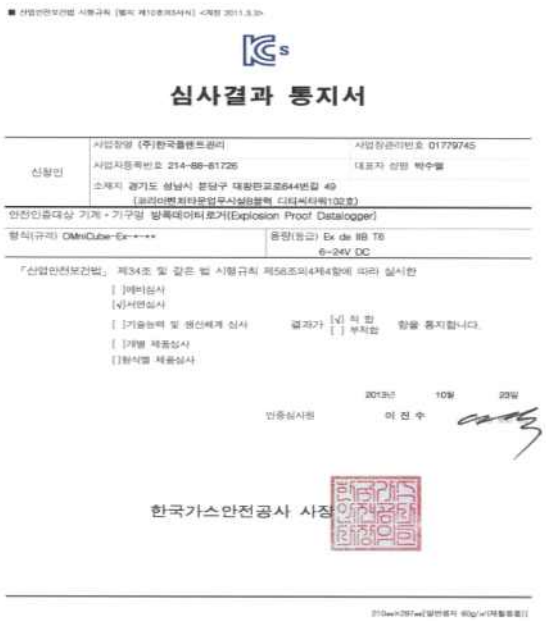
<방폭 인증 기준>


[ ] 예비심사 [ ] 서면심사
[ ] 개별 제품심사 [ ] 형식별 제품심사 안전인증신청서
[ ] 기술능력 및 생산체계심사

신청인 / 신청부문 / 제품현황

한국가스안전공사 사장 귀하

<한국가스안전공사 방폭 인증 신청서>


심사결과 통지서

신청인

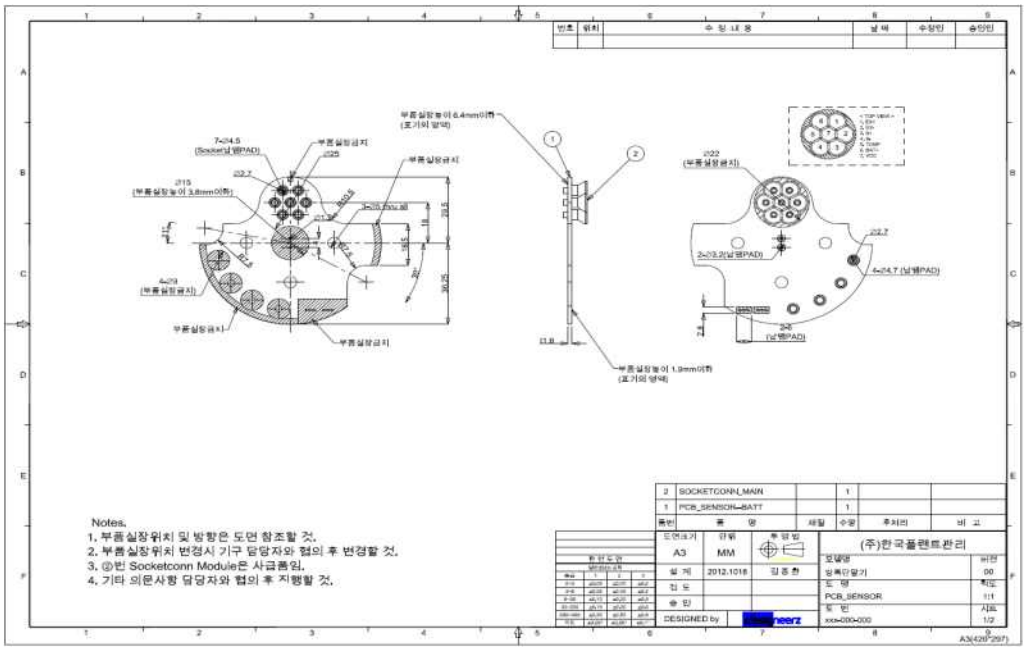
한국가스안전공사 사장

<한국가스안전공사 방폭 인증 실험결과 통지서>

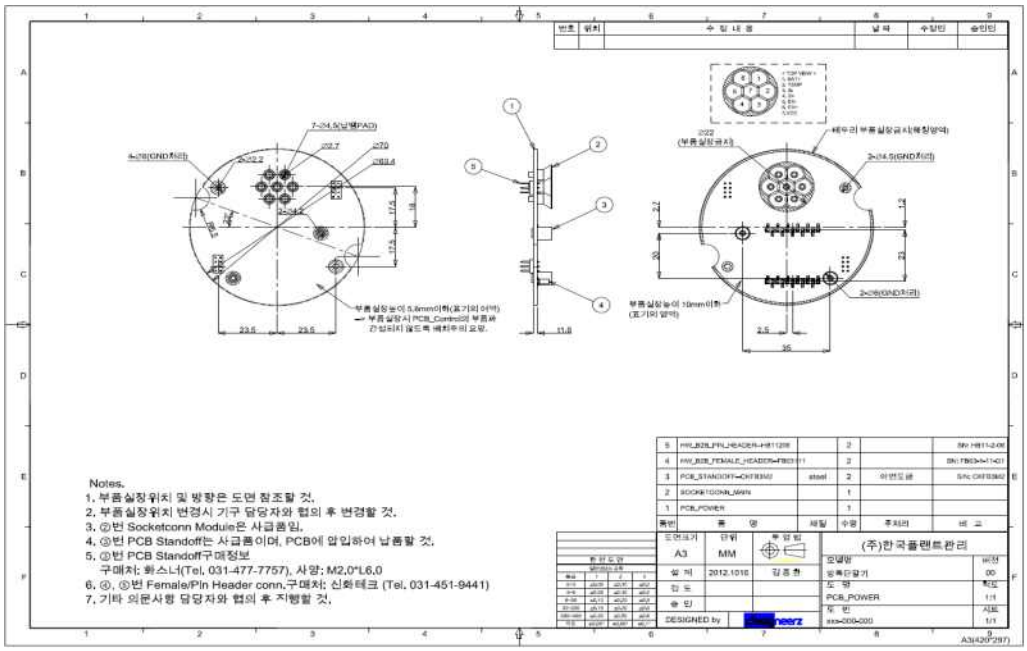
- 1차년도에 개발되어진 데이터로거 회로부를 방폭형 케이스에 맞도록 수정/제작하여 내장하여 성능 검증

⇒ 1차년도에 개발된 데이터로거 회로부 보드를 방폭형 데이터로거에 맞도록 설계 및 제작 수행함

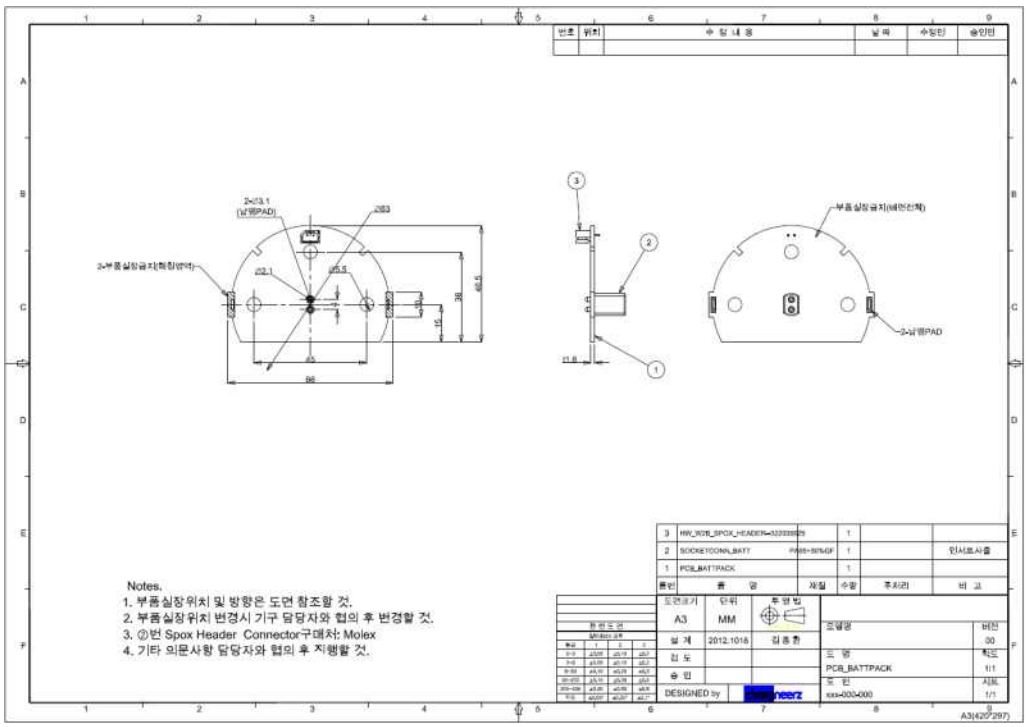
⇒ 방폭형 데이터로거 회로부 보드는 센서 인터페이스보드, 전원보드, 메인보드, LCD보드, 배터리팩보드로 구성되었음



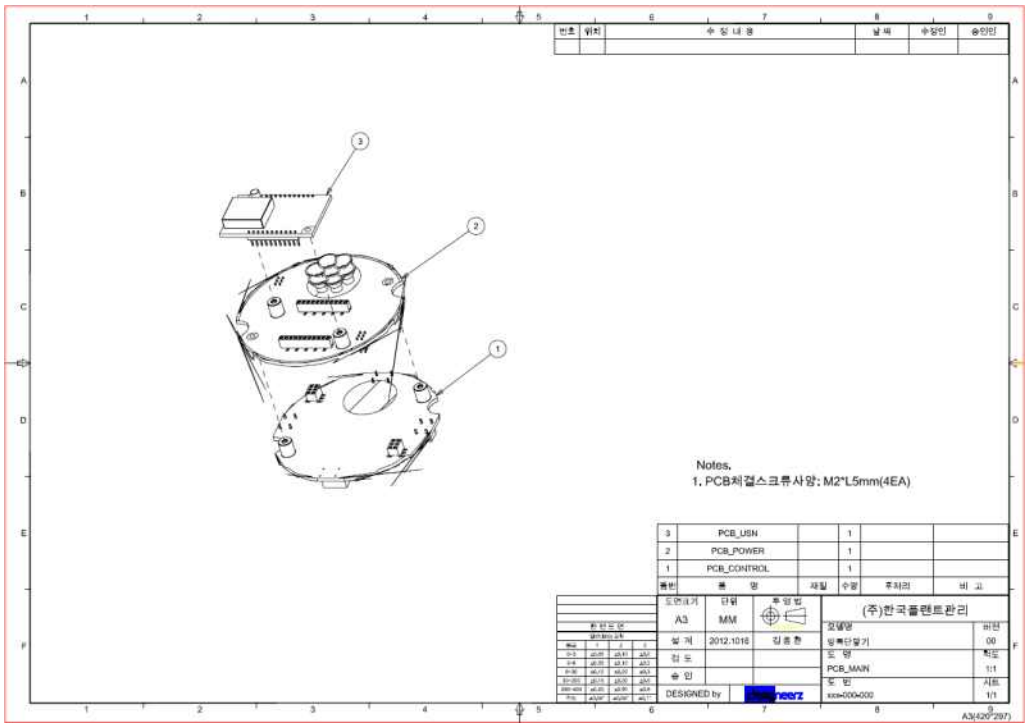
<센서 인터페이스 회로 설계>



<전원 회로 설계>



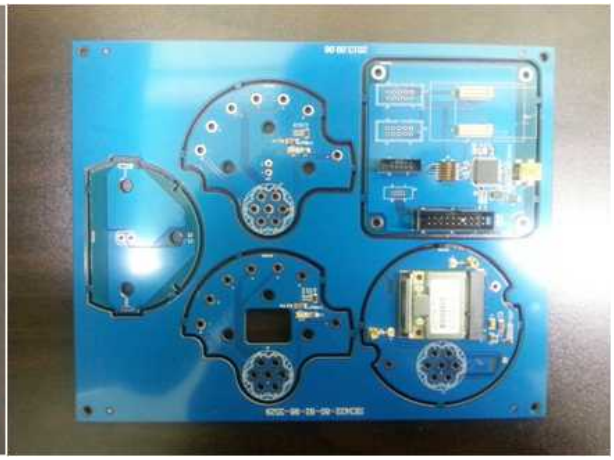
<배터리팩 회로 설계>



<메인 회로 설계>



<방폭 데이터로거 회로 보드제작>

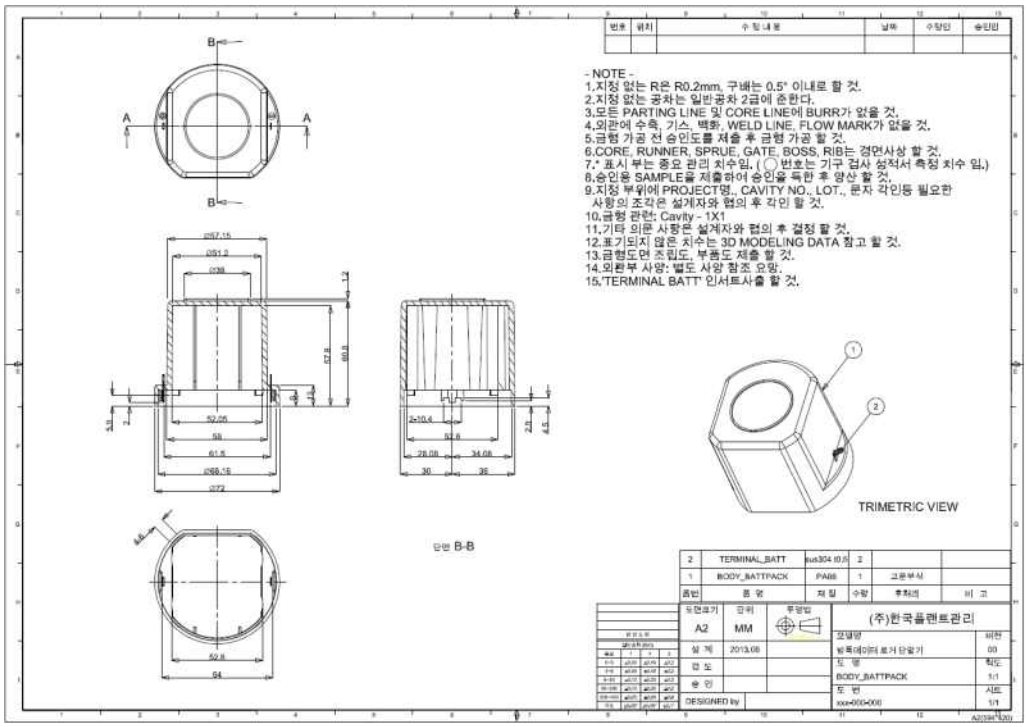


<방폭 데이터로거 회로 보드제작>

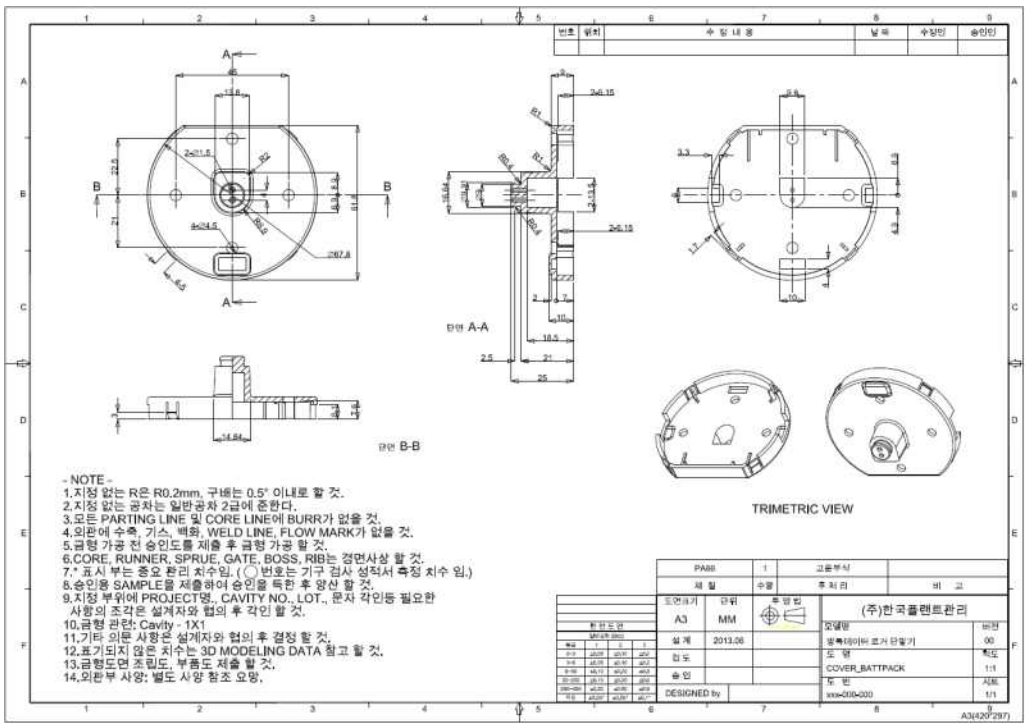
▪ 계측기능 및 무선통신 기능이 들어갈 내부 파트부 금형 제작

⇒ 방폭 데이터로거 기구부 설계 및 제작

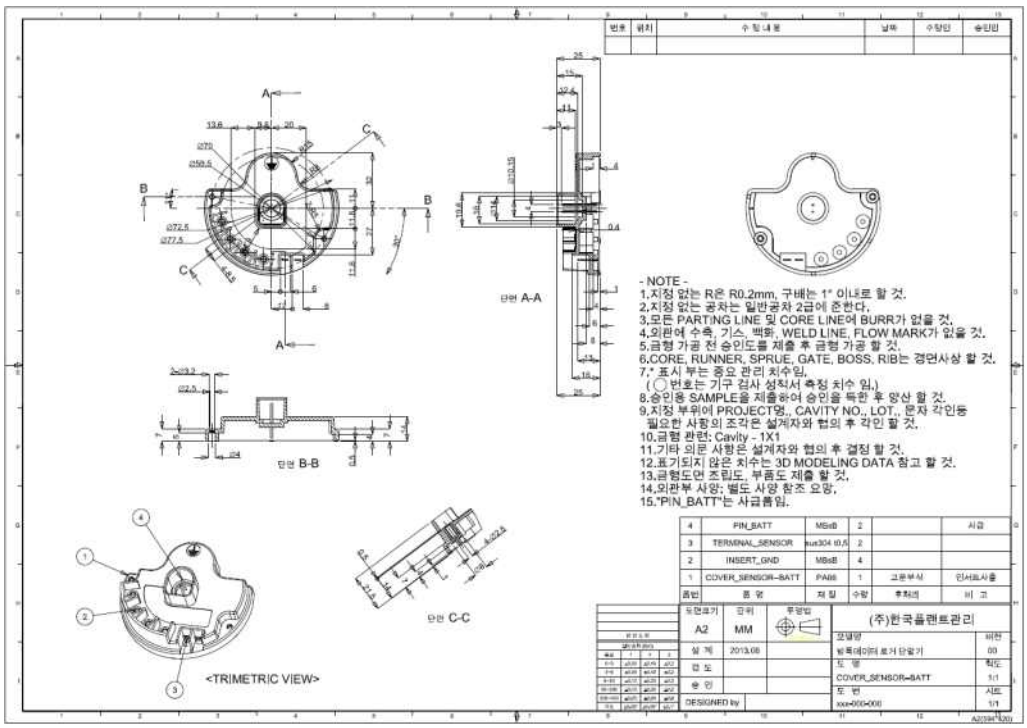
- 방폭 데이터로거의 기구부는 배터리팩, 센서 인터페이스, LCD, 안테나로 구성됨



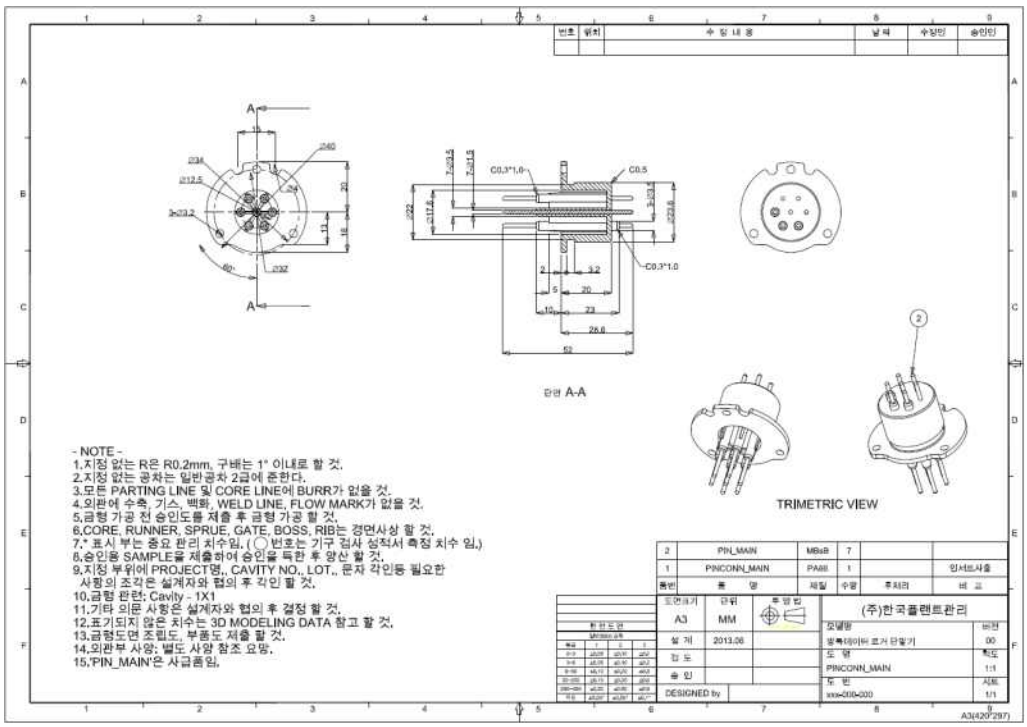
<배터리팩 기구설계>



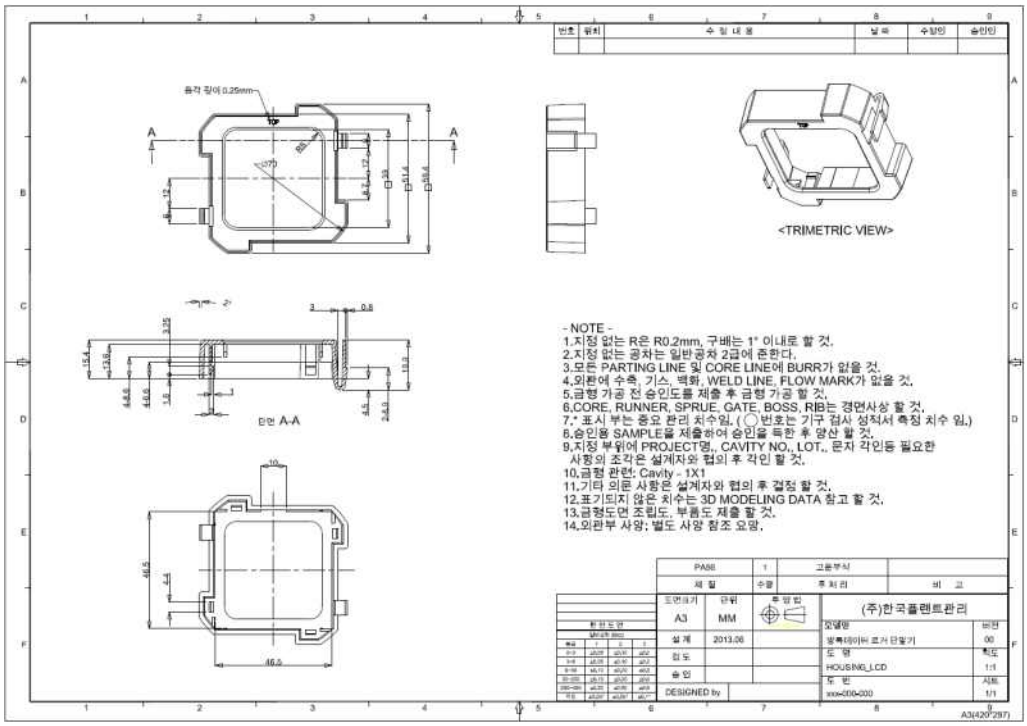
<배터리팩 커버 기구설계>



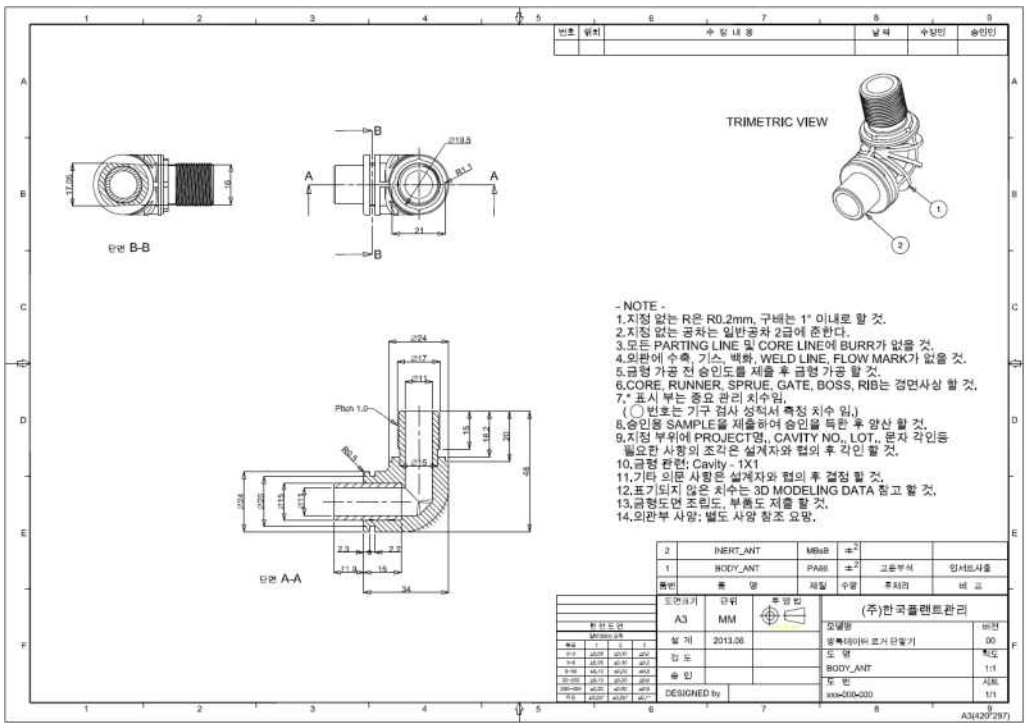
<센서인터페이스 기구설계>



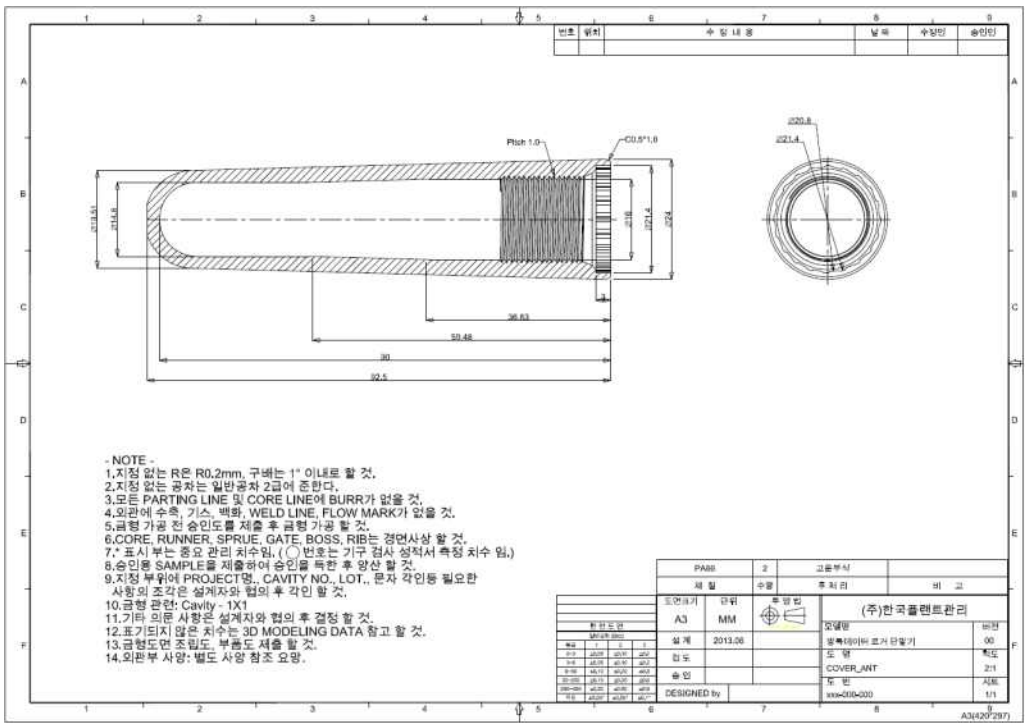
<메인바디 핀 커넥터 기구설계>



<LCD 하우징 기구설계>



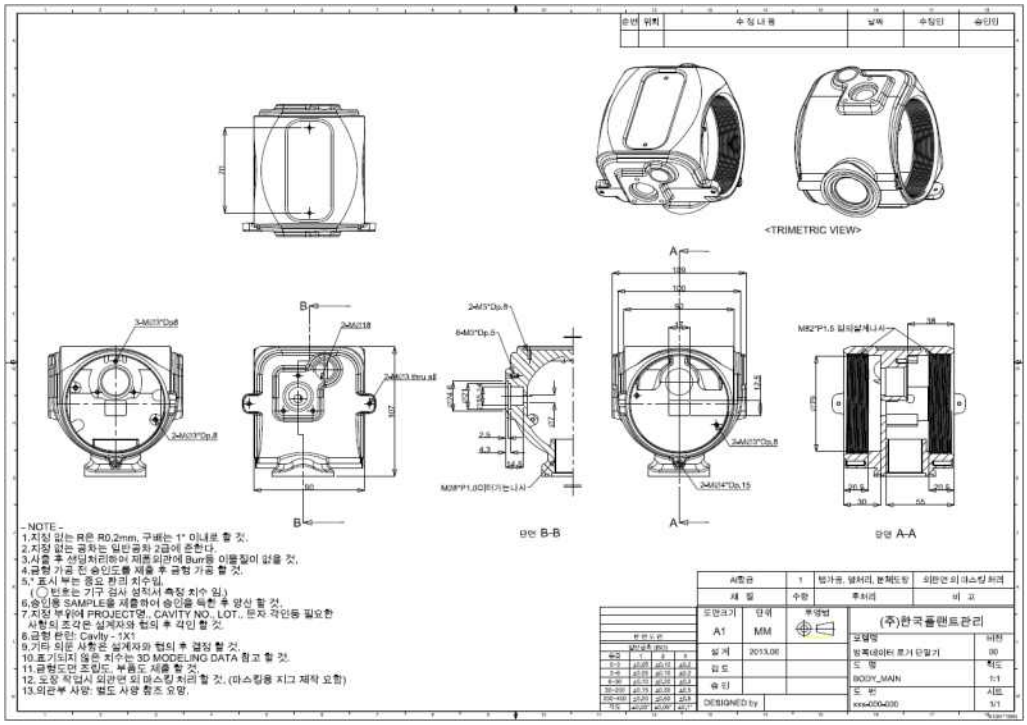
<안테나 커넥터 기구설계>



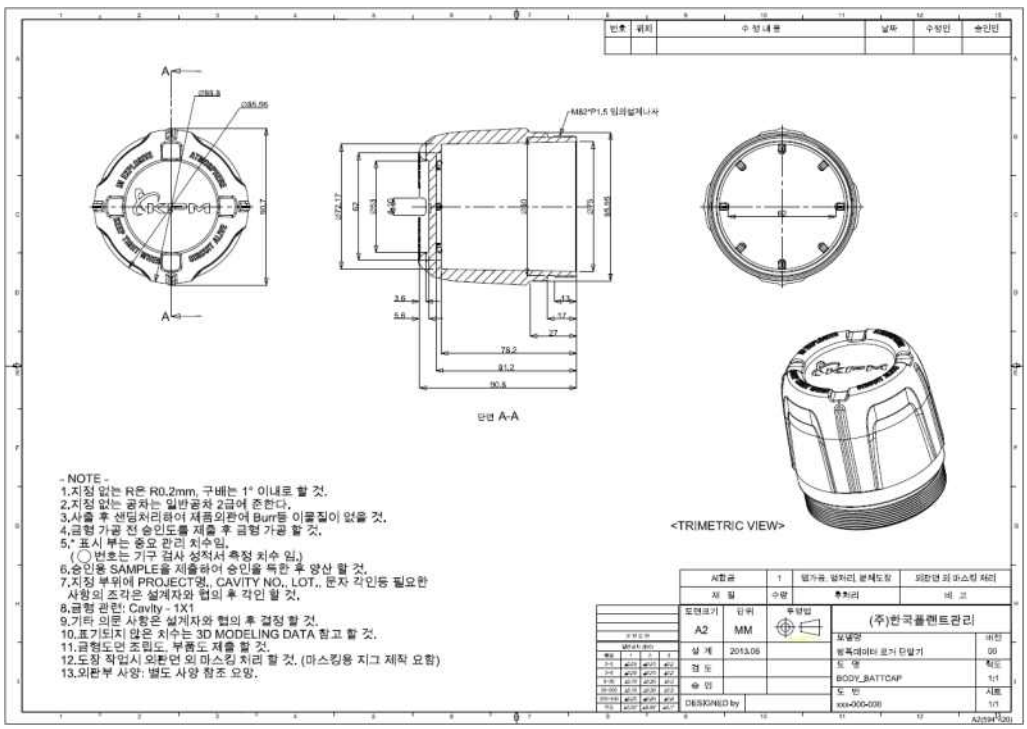
<안테나 케이스 기구설계>

⇒ 방폭 데이터로거 금형케이스 설계 및 제작

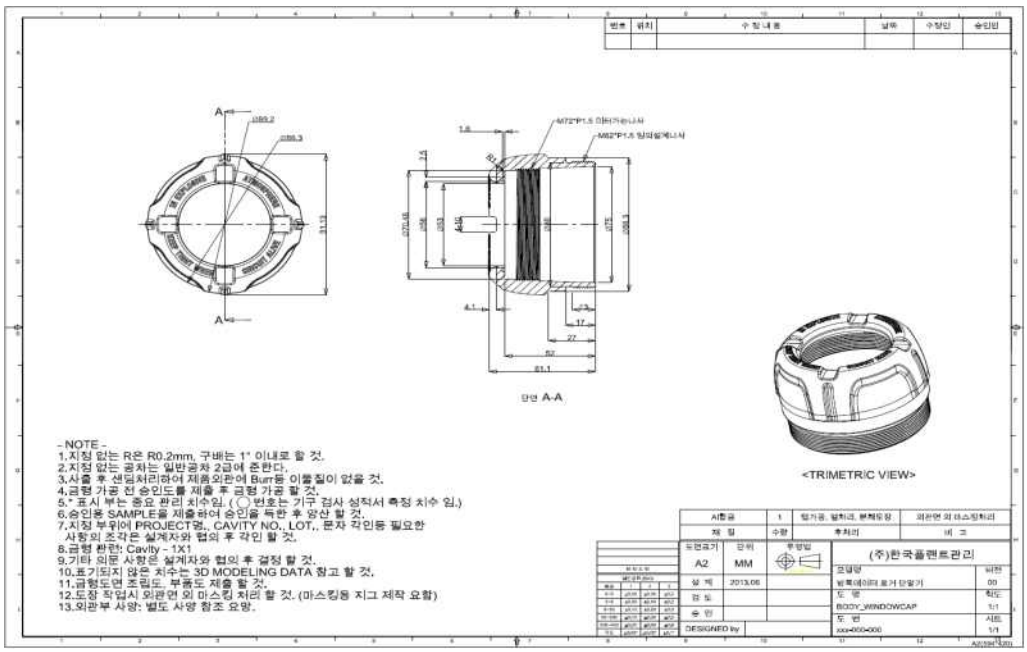
- 방폭 데이터 로거의 외부 금형은 메인바디 케이스, 베터리 캡, LCD 캡으로 구성됨



<메인 바디 금형 설계>



<배터리 캡 금형 설계>



<LCD 캡 금형 설계>

⇒ 회로 보드설계, 내부 기구설계 및 외부 금형 설계를 기반으로 파트별 3D 랜더링 이미지를 제작하여 제품의 완성도를 높였으며, 설계를 기반으로 회로보드, 내구 기구부, 금형을 제작 완료 하였음



< 파트별 3D 랜더링 이미지 >



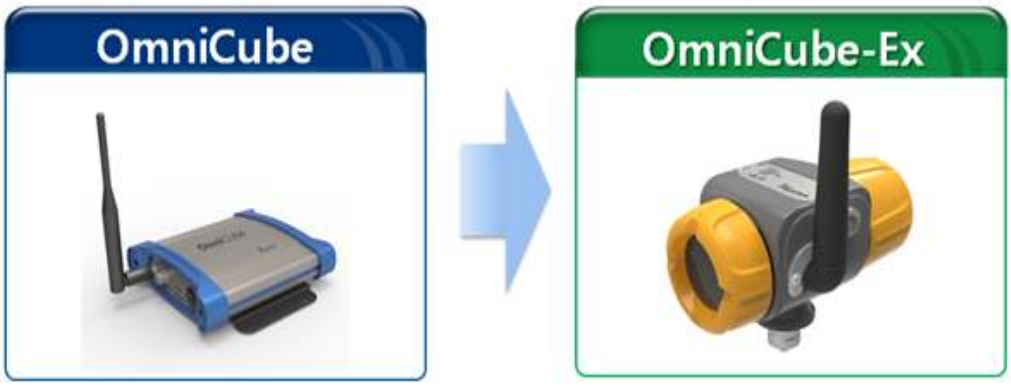
<방폭 데이터 로거 금형 제작>



<방폭 데이터 로거 기구부 제작>

▪ 방폭 데이터로거 성능 검증

⇒ 플랜트 현장에 적용 가능한 방폭 재질의 방폭형 데이터로거 시제품 제작을 완료하였음.



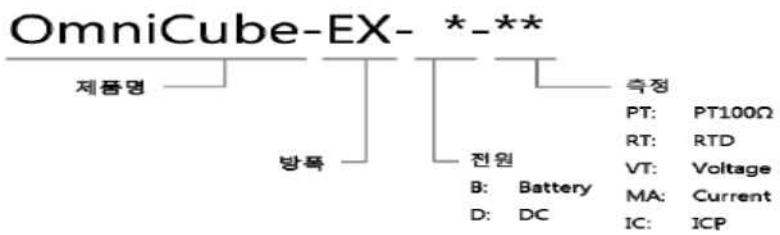
<방폭형 데이터로거 'OmniCube-Ex 시제품 제작>

⇒ 방폭형 데이터로거의 제품 표시방법은 전원공급 방식과 측정타입에 따라 표시할 수 있음.

취급설명서

제품 정보

Model	
Model	OmniCube-EX
Code 1	Input Power Source
B	Battery 1차 Li-SO_2Cl_2 7.2V 8900mAh
D	6 ~ 24V DC
Code 2	Measurement
PT	PT100Ω
RT	RTD
VT	-5 ~ 5V
MA	4 ~ 20mA
IC	ICP
Model Number	OmniCube-EX-Code 1-Code 2
OmniCube-EX-B-PT	Battery, PT100Ω
OmniCube-EX-D-VT	DC, Voltage 측정



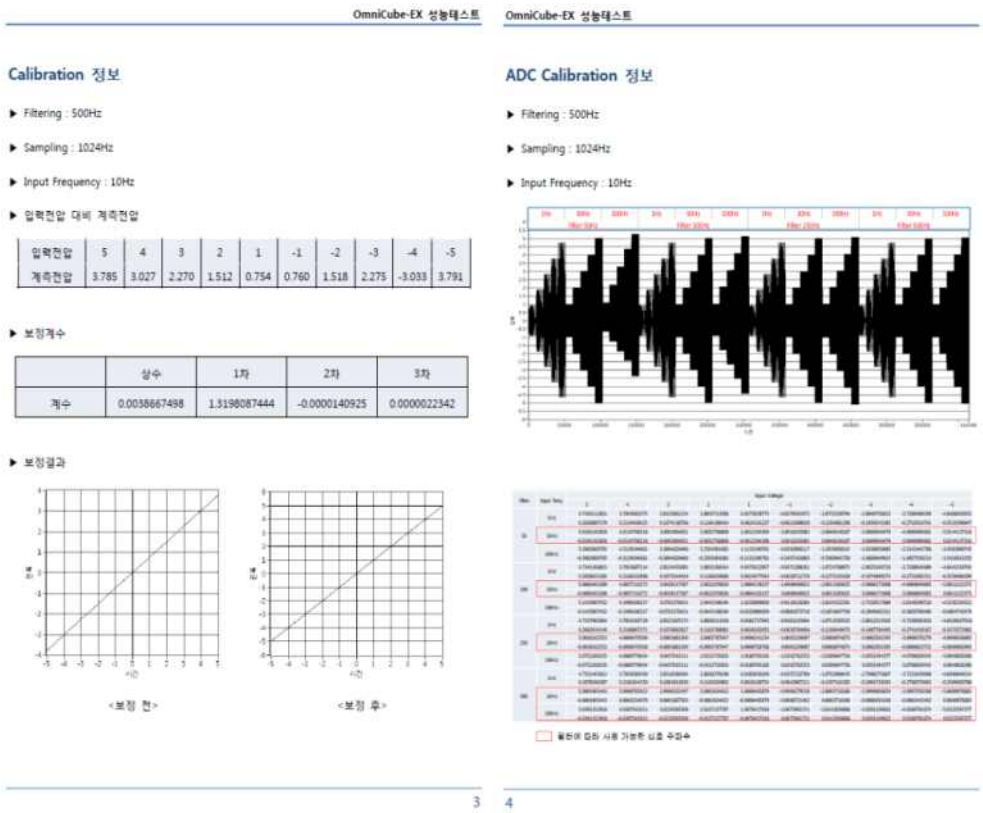
제품 표시 방법

12

<방폭형 데이터로거 'OmniCube-Ex' 제품 정보>

⇒ 제작된 방폭 데이터로거에 함수발생기를 연결하여, 계측성능 및 무선통신 성능에 대해서 자체 검증을 실시하였음.

⇒ 계측 성능 및 무선 통신 성능 테스트 결과 설정 샘플링(1024Hz)과 동일하게 데이터가 수신 및 저장됨을 확인하였음.



<방폭형 데이터로거 성능 테스트>

■ 시제품 제작 성과물

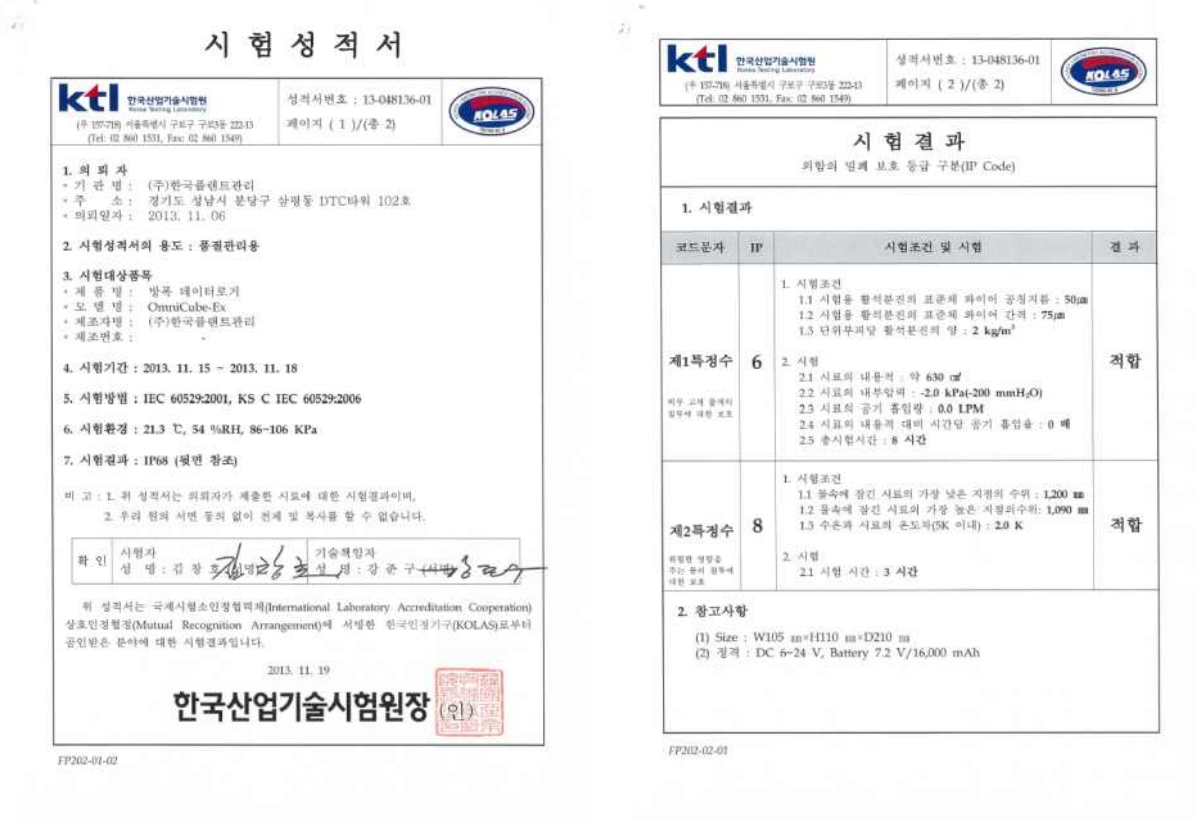


< 시제품 3D 랜더링 이미지 >



< 시제품 제작 >

⇒ 한국산업기술시험원(KTL)에서 방폭형 데이터 로거(Omnicube-Ex)의 시험 성적서 적합 판정 획득하였음.



시 험 성 적 서

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory
(우 157-718) 서울특별시 구로구 구로3동 222-13
(Tel: 02 860 1531, Fax: 02 860 1549)

성적서번호 : 13-048136-01
페이지 (1)/(총 2)

1. 의 뢰 자
- 기 관 명 : (주)한국플랜트관리
- 주 소 : 경기도 성남시 분당구 삼평동 DTC타워 102호
- 의뢰일자 : 2013. 11. 06

2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용

3. 시험대상품목
- 제 품 명 : 방폭 데이터로거
- 모 델 명 : OmniCube-Ex
- 제조자명 : (주)한국플랜트관리
- 제조번호 : -

4. 시험기간 : 2013. 11. 15 ~ 2013. 11. 18

5. 시험방법 : IEC 60529:2001, KS C IEC 60529:2006

6. 시험환경 : 21.3 ℃, 54 %RH, 86-106 KPa

7. 시험결과 : IP68 (뒷면 참조)

비 고 : 1. 위 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과이며,
2. 우리 원의 서면 동의 없이 전체 및 복사를 할 수 없습니다.

확 인	시험자 성 명 : 김 창 호	기술책임자 성 명 : 강 준 구

위 성적서는 국제시험소인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2013. 11. 19

한국산업기술시험원장 (인)

FP202-01-02

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory
(우 157-718) 서울특별시 구로구 구로3동 222-13
(Tel: 02 860 1531, Fax: 02 860 1549)

성적서번호 : 13-048136-01
페이지 (2)/(총 2)

시 험 결 과
외함의 밀폐 보호 등급 구분(IP Code)

1. 시험결과

코드문자	IP	시험조건 및 시험	결 과
제1특징수 비우 고체 물체의 침투에 대한 보호	6	1. 시험조건 1.1 시험을 활석분진의 표준체 와이어 공칭지름 : 50㎛ 1.2 시험을 활석분진의 표준체 와이어 간격 : 75㎛ 1.3 단위부피당 활석분진의 양 : 2 kg/m³ 2. 시험 2.1 시료의 내용적 : 약 630 ㎤ 2.2 시료의 내부압력 : -2.0 kPa(-200 mmH₂O) 2.3 시료의 공기 흡입량 : 0.0 LPM 2.4 시료의 내용적 대비 시간당 공기 흡입율 : 0 배 2.5 총시험시간 : 8 시간	적합
제2특징수 위험한 영향을 주는 물의 침투에 대한 보호	8	1. 시험조건 1.1 물속에 잠긴 시료의 가장 낮은 지점의 수위 : 1,200 ㎜ 1.2 물속에 잠긴 시료의 가장 높은 지점의수위: 1,090 ㎜ 1.3 수온과 시료의 온도차(5K 이내) : 2.0 K 2. 시험 2.1 시험 시간 : 3 시간	적합

2. 참고사항
(1) Size : W105 ㎜×H110 ㎜×D210 ㎜
(2) 정격 : DC 6~24 V, Battery 7.2 V/16,000 mAh

FP202-02-01

< 한국산업기술시험원 시험성적서 >

6. 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보

(1) 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축

⇒ 여수국가산업단지 내 10-2구간 상부 구조물에 위험도 평가를 위한 계측시스템 구축 함.





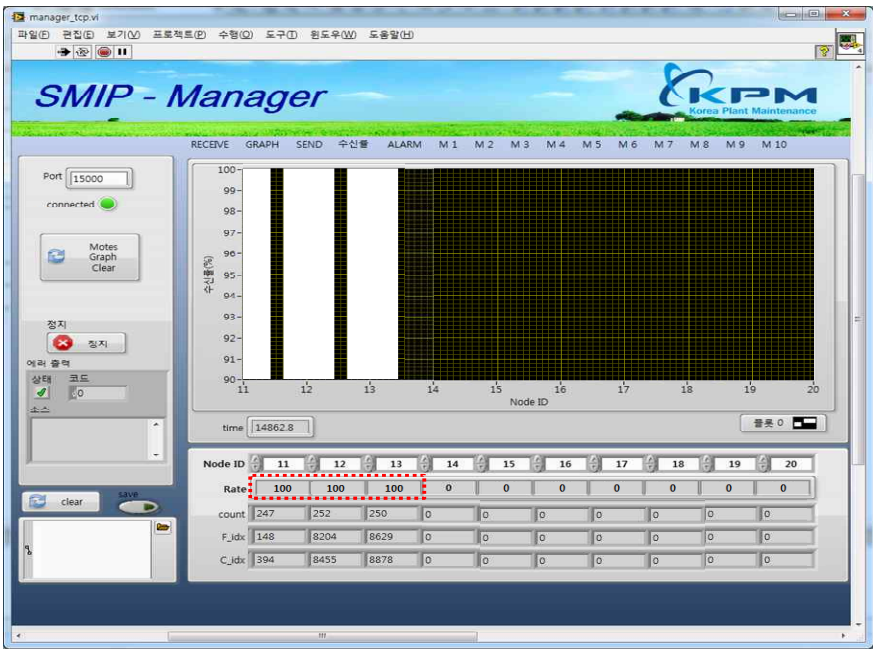
< 여수산업단지 내 10-2구간 상부구조물 위험도 평가 시스템 구축>

⇒ 여수국가산업단지 내 10-2구간 상부 구조물에 방폭형 무선 데이터 로거를 추가 설치하고 계측 성능 및 통신 성능 확인



< 여수산업단지 내 10-2구간 오버브릿지 방폭형 무선 데이터 로거 설치 >

⇒ 상부구조물에 설치된 방폭형 무선 데이터 로거의 계측 및 통신 성능 확인 결과 데이터 값이 누락 없이 100%의 수신률을 보임 .



< 방폭형 무선 데이터 로거 통신 수신률 확인 >

(2) 요소기술 패키징을 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합을 통해 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션

⇒ 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합 모니터링 시스템을 통해 구조물에 대한 실시간 모니터링 수행.



< 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합 모니터링 시스템 >

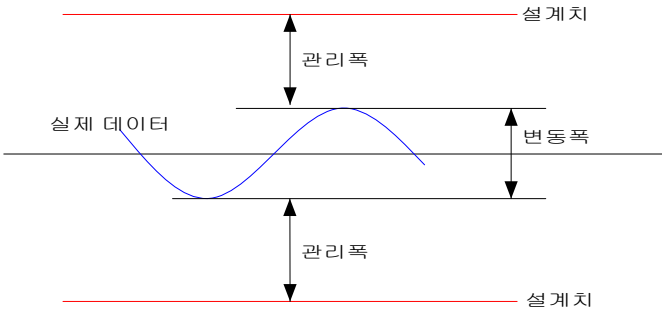
⇒ 플랜트 시설물 위험도 평가 시스템으로부터 모니터링 되는 계측데이터를 통해 관리기준치를 설정하고 구조 동특성 관리를 통해 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합 솔루션 구축.

□ 관리기준치는 1차, 2차, 3차 관리기준치로 나누어지며, 그 설정 기준은 그림과 같이 계측 데이터의 최대, 최소값과 설계치의 차를 관리폭이라 할 때, 이 관리폭을 기준으로 1차, 2차, 3차 관리기준치를 설정함.

◦ 1차 관리기준 : 관리폭의 60%

◦ 2차 관리기준 : 관리폭의 80%

◦ 3차 관리기준 : 관리폭의 100%



<관리기준치 설정 기준>

□ 계측 항목별로 산정된 관리기준치를 기준으로 건전도 지수(SHI)를 설정.

<계측결과치에 따른 건전도 지수>

시간이력 데이터 관리폭(%)	구조물 동특성	SHI	Message
60 below	변화 없음	8~10	정상
60-80	1st, 2nd mode shifting	4~7	주의
80-100	1st~3rd mode shifting	1~3	경고

<계측 항목별 상세 결과치에 따른 건전도 지수>

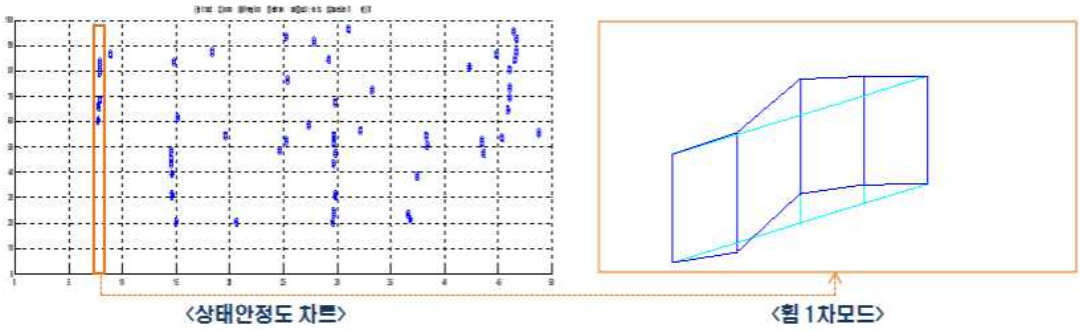
건전도지수 (SHI)	Message	관리폭(%)			동특성 변동
		변형률	경사	가속도	
10	정상	0	0	0	없음
9		0<계측치<30	0<계측치<30	0<계측치<30	
8		30<계측치<60	30<계측치<60	30<계측치<60	
7	주의	30<계측치<60	60<계측치<70	30<계측치<60	1차모드 변동
6		30<계측치<60	60<계측치<70	60<계측치<70	
5		60<계측치<70	70<계측치<80	60<계측치<70	1차,2차모드 변동
4		70<계측치<80	70<계측치<80	70<계측치<80	
3	경고	70<계측치<80	80<계측치<90	70<계측치<80	1차,2차,3차모드 변동
2		80<계측치<90	90<계측치<100	80<계측치<90	
1		90<계측치<100	90<계측치<100	90<계측치<100	

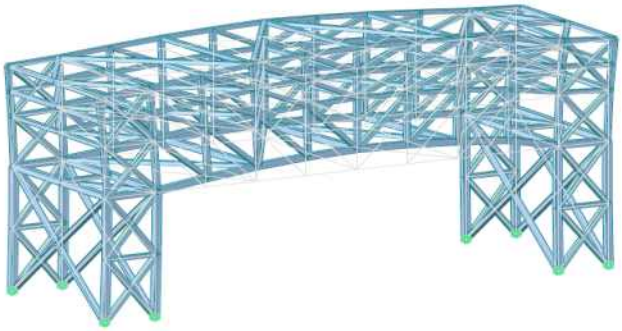
□ 구조모델 고유진동해석을 통해 강성 감소에 따른 안전율 변화를 고려한 차수별 고유진동수 도출 및 관리기준치 설정

□ 주파수영역 및 시간영역 동적 해석을 통해 구조물 동특성 추출 및 관리기준치와 비교분석을 통해 구조물 안전관리 수행

- 구조물 동특성 추출 : 주파수영역 및 시간영역 교차 분석

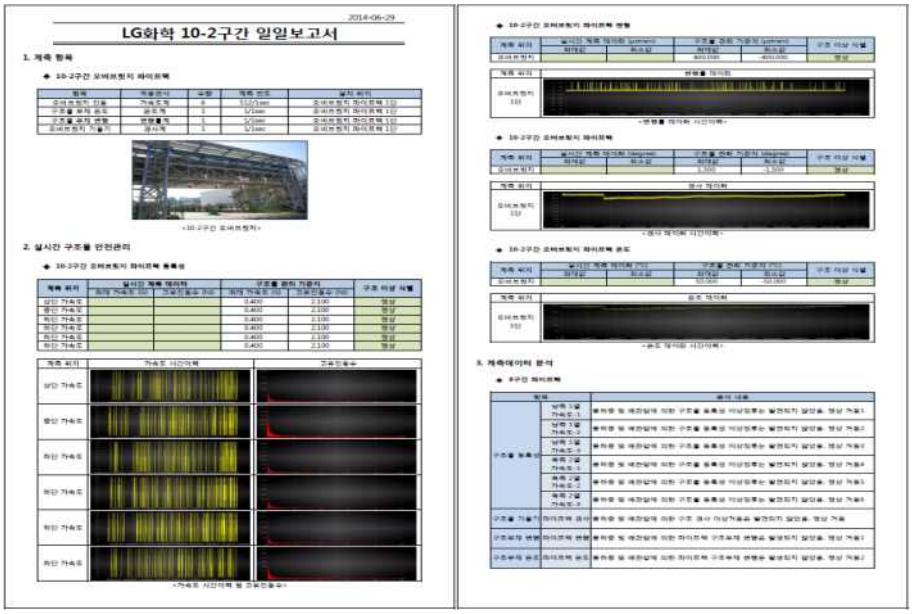
- Natural frequency, Mode shape 추출 및 관리





<수치모델을 통한 플랜트 상부구조물의 휨 1차모드 형상>

⇒ 구조물의 관리기준치 산정 및 구조 동특성 분석을 통해 구조물 상태에 대한 보고서 자동 생성.



<구조물 상태 보고서 자동 생성>

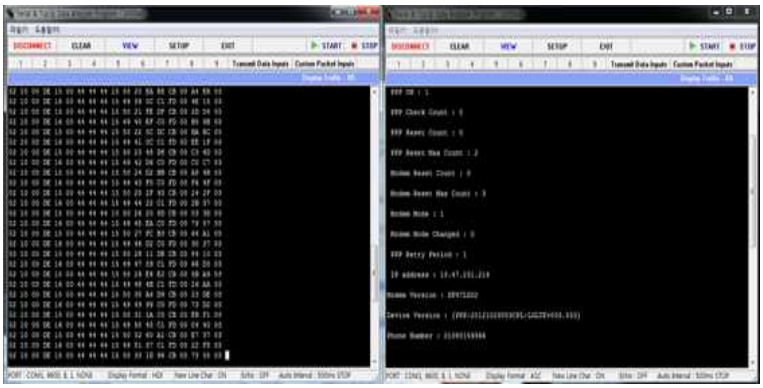
7. 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 및 게이트웨이 개발

(1) 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 개발

⇒ 고속 샘플링 데이터 전송 기술 개발

- 동적 데이터의 원활한 처리를 통해 정확한 동적 특성 자료를 추출하기 위해서는 메시지 처리속도의 향상이 필요
- 데이터 수집프로그램을 통해 초당 1000sample 이상의 데이터 전송이 가능하도록 개발

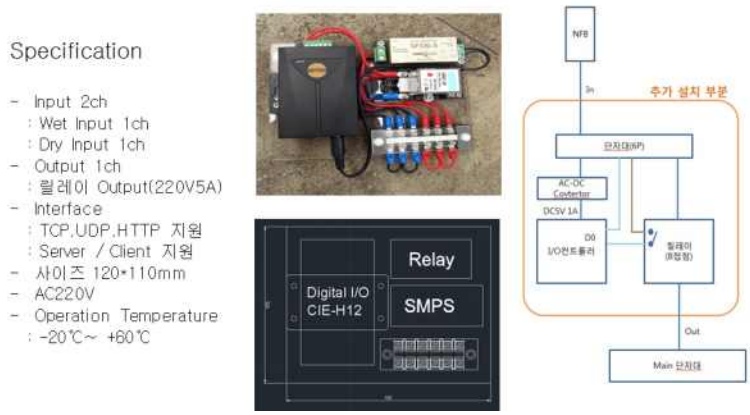
⇒ LTE 광역통신 기반 원격지 데이터 통신 기술 개발



< LTE 통신기반 데이터 전송 >

(2) 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발

⇒ LTE 광역통신 기술을 활용한 원격지 시스템 제어

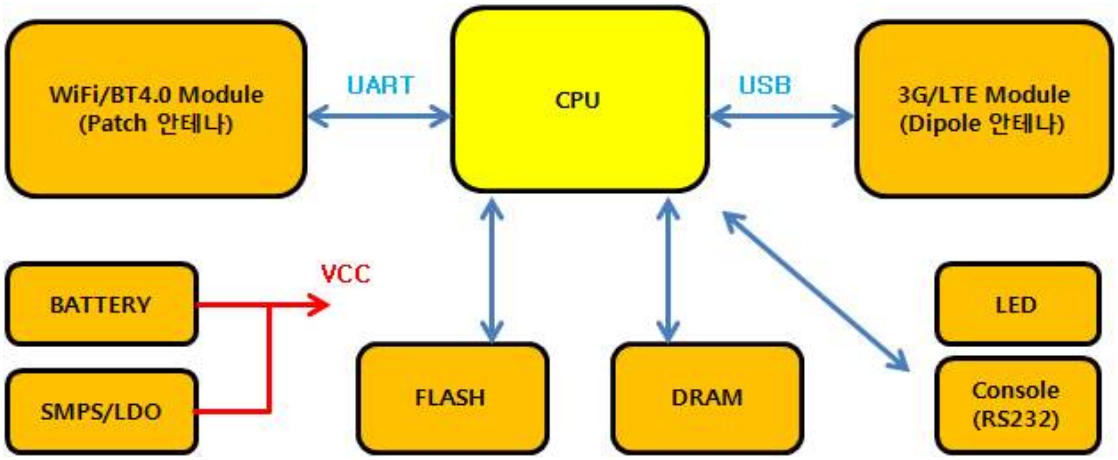


< 원격지 시스템 제어가 가능한 게이트웨이 개발 >

⇒ 게이트웨이는 지반 환경 센서의 입력을 받아들이도록 설계되었으며, 센서와의 통신을 위한 모듈과 외부 원격 단말과의 통신을 위한 모듈이 장착하는 구조로 시스템 사양으로는 시스템의 원활한 구동과 통신모듈과의 연동을 위해 Cortex CPU와 최대 1GByte의 RAM을 채택하여 지연 없는 원활한 운영환경을 구축하도록 설계

< 게이트웨이 샤양 >

항 목		기 능	기 타
CPU		메인 CPU	저전력, Sleep-wakeup 구조
메모리		OS, App 저장	Flash, DRAM
3G/LTE		분석시스템으로 정보전달	광대역 통신망 사용
WiFi		게이트웨이와 통신용	WiFi와 BT 4.0중 선택 사용
BT 4.0		게이트웨이와 통신용	
기구		방수, 방폭 구조	
전원	AC220V 상전	메인 전원 공급, SMPS사용	환경 감지센서 상시 동작(170mAh 소모), 로드셀 전원공급/배터리 충전
	배터리	보조 전원 공급	정전 발생시 동작



< 게이트웨이 블록다이어그램 >

- 메인 프로세서 : ARM Cortex 계열 사용
- 운영체제 : 임베디드 리눅스
- 메모리 : 256MB ~ 1GB 운용 (현장 상황 및 센서에 따라 결정, 운영)
- 유선 네트워크 인터페이스 : 10/100 00BASE-T RJ45 -1 socket
- 무선 네트워크 인터페이스 : WiFi, LTE 통신 모듈 지원
- 각종 센서 연동을 위한 GPIO 인터페이스 지원

8. 플랜트 시설물 평가 기술연구 개발

(1) 플랜트 시설물 상태평가 시스템 구축

본 연구에서 개발된 플랜트 시설물 상태평가 시스템은 다음과 같은 기능을 가진다.

- u-GISN에서 측정된 계측결과를 데이터베이스 및 파일에 저장
- 계측 데이터베이스를 관리하여 클라이언트의 요청에 의해 자료를 제공
- 저장된 데이터의 표출 및 상태 분석/평가

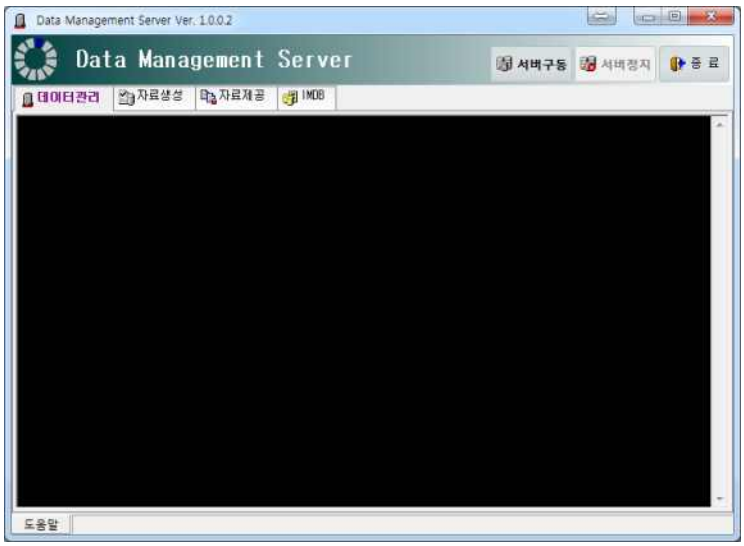
상태평가 시스템은 아래의 그림과 같이 센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환(Analog-to-Digital Convert)하여 저장하는 u-GISN, 계측된 신호를 읽어 후처리(post-processing)를 거친 뒤 데이터베이스에 저장하고, 실시간 계측 신호를 제공하는 기능을하는 서버 프로그램, 그리고 저장된 계측데이터를 표출하고 통계분석, 상관분석 등을 수행하는 상태평가 프로그램으로 구분된다. 본 연구에서 개발된 서버 프로그램과 상태평가 프로그램은 Delphi 언어로 개발되었으며, 사용된 데이터베이스는 MySQL을 사용하였다.



<플랜트 시설물 상태평가 시스템>

▣ 서버 프로그램

앞서 언급한 바와 같이 서버 프로그램은 u-GISN에 의해 계측된 신호를 읽어 후처리를 거친 뒤 해당 결과를 데이터베이스에 저장하고, 클라이언트 프로그램에서 실시간 계측 신호를 원할 경우 제공해 주는 역할을 한다. 개발된 서버 프로그램의 화면을 보여주며 각각의 기능들은 다음과 같다.



<서버 프로그램(Data Management Server) 메인 화면>

▶ 서버구동 버튼 : 서버 프로그램을 시작하여 주기적으로 데이터를 읽어 후처리 후 데이터베이스에 저장

▶ 서버정지 버튼 : 데이터 저장을 정지

▶ 종료 버튼 : 서버 프로그램을 종료

▶ 데이터관리 탭 : 데이터 저장 및 오류 결과 등을 현황을 확인

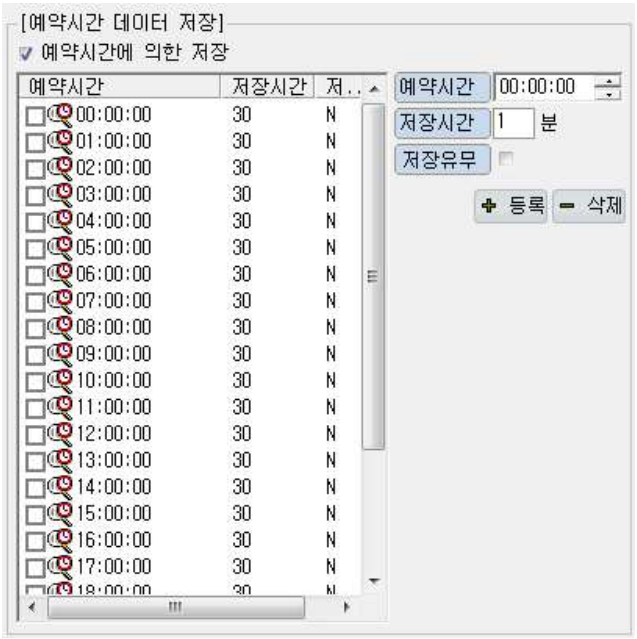
▶ 자료생성 탭

① 실시간 데이터 저장 : 동적으로 측정되는 가속도의 경우 초당 100개의 데이터를 받기 때문에 이를 장기간 계속 저장하는 한정된 저장장치로 인해 불가능함. 따라서 특정 시간에만 데이터를 취득하여 활용하기를 원할 경우에 사용하는 기능.

▽ 예약시간에 의한 저장 : 예약시간에 따라 동적 계측 원시 데이터를 보관할지 여부를 설정.

▽ 예약시간관리

- 예약시간 등록 : 예약시간, 저장시간, 저장유무를 입력 후 [등록] 버튼을 클릭
- 예약시간 삭제 : 삭제할 예약시간을 목록에서 선택 후 [삭제] 버튼을 클릭



<예약시간에 의한 저장 설정 화면>

② 자료처리

▽ 측정간격 : 동적 원시데이터의 대표치(평균, 최대, 최소) 추출 간격 설정

▽ 측정시간 : FFT Size에 딸 자동 계산되어 표시

▽ 샘플 주파수 : 샘플을 수집하는 간격을 주파수(Hz) 단위로 정의

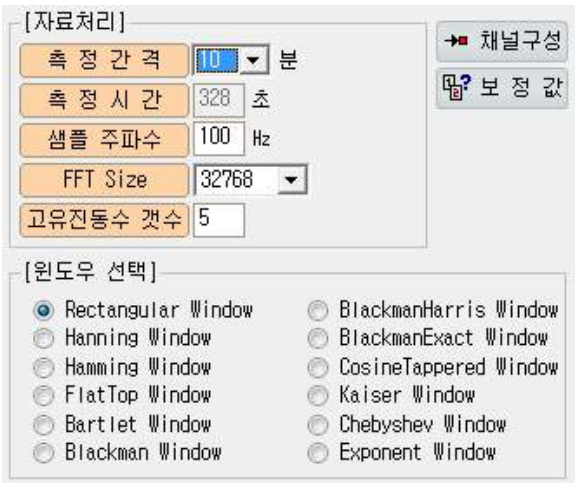
▽ FFT Size : 고유진동수 산정을 위한 FFT 크기를 정의

▽ 고유진동수 개수 : 고유진동수를 추출할 개수 정의

▽ 동적 원시자료의 주파수 분석(신호처리)을 위한 윈도우 유형 선택

▽ 채널구성 : 데이터로거별 채널구성이 변경된 경우 이를 바로 적용하기 위한 버튼

▽ 보정값 : 계측센서별 게이지팩터, 검사방법, 관리상한 등이 변경된 경우 이를 바로 적용하기 위한 버튼

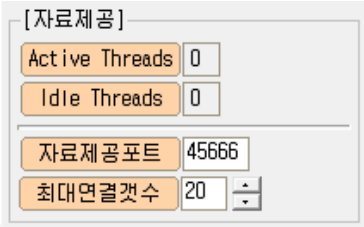


<자료처리 설정 화면>

▶ 자료제공 탭

▽ 지료제공포트 : 동적 원시자료를 제공한 위한 서비스 포트 정의

▽ 최대연결갯수 : 클라이언트 최대 지원 개수 정의



<자료제공 설정 화면>

▶ IMDB 탭 : 서버 프로그램의 내부 메모리를 초기화하는데 사용.

▣ 상태평가 프로그램

상태평가 프로그램의 메인화면은 다음 그림 ??와 같이 크게 2개의 영역으로 구성되었다. 상단은 메뉴이며, 하단은 각각의 메뉴 항목들에 대한 팝업창이 나타나는 작업영역이다.

▶ 메인메뉴

메인메뉴는 기준정보관리, 계측분석, 창관리, 시스템관리로 4개의 큰 카테고리로 분류되어 있으며 메뉴별 하부메뉴는 아래 표 ??와 같다.



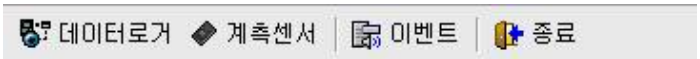
<플랜트 u-GISN 상태평가 프로그램 메인화면>

<플랜트 u-GISN 상태평가 프로그램 메인메뉴 구성>

대분류	소분류	설 명
기준정보관리	통합코드관리	시스템 코드 관리
	가속도계 제원관리	구조물 고유진동수 추출범위 관리
	센서종류관리	센서종류 기본정보 관리
	계측센서관리	계측센서 기본정보 관리
	데이터로거관리	정/동적 데이터로거 정보 관리
	데이터로거 채널관리	데이터로거별 채널 및 센서연결 관리
계측분석	변형률계	각 위치의 센서별 계측 결과 조회
	경사계	
	온도계	
	가속도계	
창관리	수평정렬, 수직정렬, 계단식 정렬, 전체 최소화, 전체 최대화	
시스템관리	그래프 속성	그래프 속성 설정
	이벤트관리	이벤트 내역 확인
	트리거/알람 설정	검사방법, 트리거/알람유무 관리
	예약시간 트리거 설정	예약시간에 의한 트리거 설정 관리
	센서저장위치	메모리 저장위치 관리
	종료	프로그램 종료

▶ 툴바버튼

메인메뉴를 통하지 않고 필요한 프로그램을 바로 실행할 수 있도록 툴바버튼이 아래와 같이 구성되어 있다.



<툴바버튼>

▽ 데이터로거 : 정/동적 데이터로거 정보관리
▽ 계측센서 : 계측센서 기본정보관리
▽ 이벤트 : 이벤트 내역 확인
▽ 종료 : 프로그램 종료

① 기준정보관리

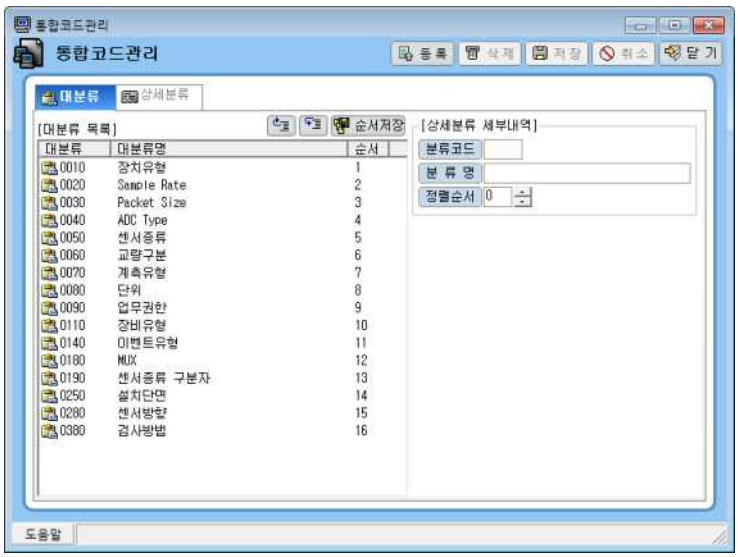
기준정보관리는 상태평가 시스템을 구성하는 기본정보인 계측센서, 데이터로거, 설치단면 등을 관리할 수 있는 메뉴로 구성되어 있다.

▽ 통합코드관리

상태평가 시스템에서 사용되는 모든 코드를 일괄적으로 관리한다. 통합코드는 2단계의 분류체계를 따르며 대분류와 상세분류로 구분한다. 프로그램에서 코드를 사용하는 이유는 특정 명칭이 변경될 경우 별도의 컴파일 과정 없이 단지 코드에 대한 명칭만 바꾸는 것으로 가능하기 때문에 생산성이 높아지기 때문이다. 본 연구에서는 시스템에 필요한 기본적인 정보를 다음 표 ??와 같이 구분하였다. 이들 각각에 대한 개별 코드는 기본적으로 4자리 영/숫자로 구성되도록 구성하였다.

<대분류 구성>

분류코드	분류명	분류코드	분류명	분류코드	분류명
0010	장치유형	0070	계측유형	0180	MUX
0020	Sample Rate	0080	단위	0190	센서종류 구분자
0030	Packet Size	0090	업무권한	0250	설치단면
0040	ADC Type	0010	데이터로거 타입	0280	센서방향
0050	센서종류	0110	장비유형	0380	검사방법
0060	구조물명	0140	이벤트유형		



<통합코드관리 창>

▽ 가속도계 제원관리

통상 가속도계는 구조물의 고유진동수(Natural Frequency)를 추출하는데 많이 이용된다. 고유진동수는 가속도 데이터를 FFT(Fast Fourier Transform)을 통해 시간영역신호를 주파수영역으로 변환하고 주파수영역에서의 최대 Peak 점을 찾아서 추출한다. 이론적으로 구조물의 고유진동수는 무한개를 가지지만 실제구조물에서 계측 가능한 고유진동수는 저차 수개로 한정된다.

본 연구에서는 1~5차 고유진동수를 추출하기 위해 각 차수별 최소, 최대값을 정의하고 범위 내의 최대값을 고유진동수로 추출하도록 개발되었다. 따라서 구조해석이나 초기점검 자료를 통해 고유진동수에 대한 사전적 지식이 필요하다.

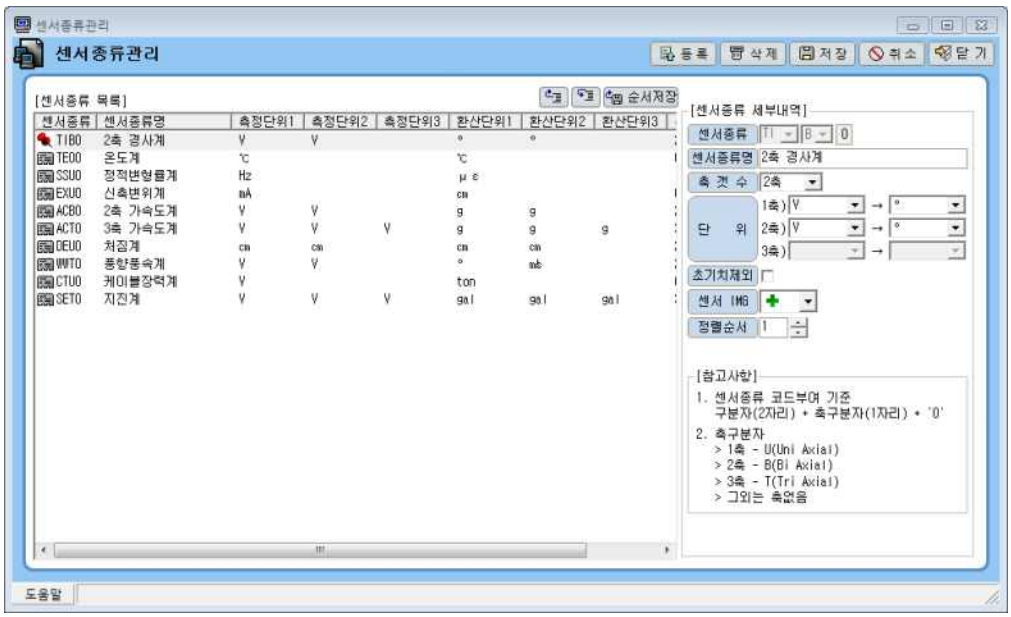


<가속도계 제원 관리 창>

▽ 센서종류 관리

계측센서 유형별 종류를 정의하고 센서종류를 구분하기 위한 이미지 및 단위, 표시할 축의 개수를 관리한다.

【 센서 종류 체계 】
XX(센서종류 구분코드 2자리) + X(축구분자 1자리) + '0'
※ 축 구분자(0축 : "0", 1축 : "U", 2축 : "B", 3축 : "T")



<센서종류관리 창>

▽ 계측센서관리

설치된 센서의 정보(설치단면, 계측유형, 센서종류, Tag No., 모델명, Gauge Factor, 관리치 등)을 관리한다. 계측센서 관리 화면에서의 각 항목에 대한 설명은 아래와 같다.

계측센서 세부내역 작성 방법

1) 센서 ID : 프로그램이 자동으로 부여하고, 임의로 수정할 수 없다.
2) 계측유형 : 센서의 계측유형에 따라 동적/정적 중 선택한다.
3) 데이터로거 : 센서를 연결할 데이터로거를 선택한다.
4) 센서종류 : 계측센서의 종류를 선택한다.(예 : 가속도계, 온도계 등)
5) Tag No. : 계측센서에 사용자에 의해 부여하는 식별번호이다.
6) 모델명 : 계측센서 모델명을 입력한다(옵션 사항).
7) 일렬번호 : 계측센서의 일렬번호를 입력한다(옵션 사항).
8) 설치위치 : 계측센서가 설치된 위치를 상세하게 입력한다(옵션 사항).
9) 설치일자 : 계측센서 설치일자를 입력한다(옵션 사항).

10) 방향 : 센서가 설치된 방향을 명시한다. 설치 방향은 교축방향이 X, 교축직각 방향이 Y, 연직방향이 Z이다. 단, 지진속도계의 경우 진북 방위각에 따라 X, Y가 결정(즉, X는 동쪽, Y는 북쪽)되며, 풍향풍속계의 경우 U는 풍향, V는 풍속, W는 와류를 의미한다.

11) 센서명 : 사용자에 의해 임의로 명명된다.

12) 단위 : 센서로부터 계측된 최종 물리량 단위를 선택한다.

13) 초기치 : 초기치를 필요로 하는 경우 처음 센서 설치 후 취득한 값을 입력한다.

14) 환산계수 : 아래 [환산계수 적용 방법] 참조.

15) 관리한계치 : 센서의 물리량을 관리 상한/하한치를 설정한다. 관리한계치를 벗어 날 경우 이벤트가 발생하게 된다.

16) 경보한계치 : 관리한계치와 동일하게 적용되기 때문에 입력할 필요 없음.

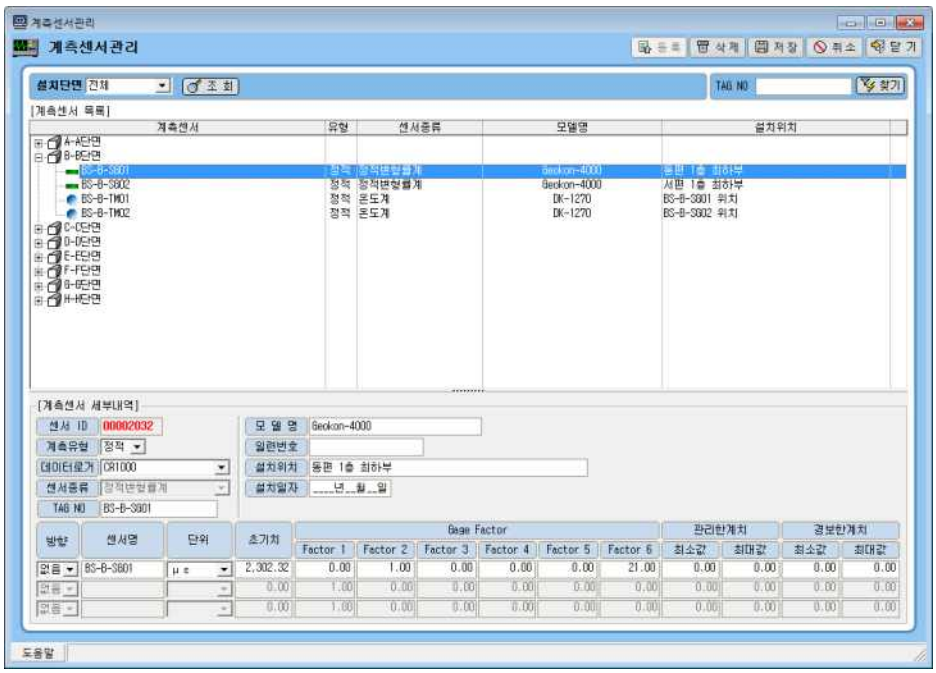
환산계수 적용 방법

통상 센서는 전기적 신호를 출력하고 데이터로거는 이를 저장한다. 따라서 저장된 전기적 신호의 값은 다시 물리량으로 환산할 필요가 있다. 통상 환산식은 1차 함수를 가지며, 특수한 경우 2~4차 함수까지 사용되는 경우가 있다. 따라서 다음과 같이 최대 4차 함수까지 가지는 경우를 가정하여 환산식 및 환산계수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{환산식} = [\text{Factor 5}]\times x^4 + [\text{Factor 4}]\times x^3 + [\text{Factor 3}]\times x^2 + [\text{Factor 2}]\times x + [\text{Factor 1}]$$

여기서 x는 데이터로거에 저장된 센서의 출력 값이고, [Factor 1~5]은 계수 값이다. [Factor 6]은 환산 이후 추가적으로 물리량을 변환할 필요가 있을 때 사용된다. 즉, 최종 물리량은 [환산값]×[Factor 6]가 된다.

※ 옵션사항은 입력하지 않아도 무관함.



<계측센서 등록 창>

② 계측분석

계측분석 창은 기본적으로 계측된 결과보거나 동적 계측의 경우에는 실시간 계측정보를 확인할 수 있도록 구성되어 있으며, 각각의 계측 결과에 대한 통계분석, 상관관계 분석, 저장된 동적 원시데이터의 주파수 분석 등이 가능하도록 개발하였다. 계측데이터 분석 창은 크게 정적 계측결과 분석과 동적 계측결과 분석 창으로 나눠지며, 여수산업단지에 설치된 센서에 대한 정적계측 항목과 동적계측항목은 다음과 같다.

<여수산업단지에 설치된 계측항목 구분>

정적 계측 항목	동적 계측 항목
변형률계	가속도계
경사계	
온도계	

▽ 정적 계측 항목 결과 분석 창

정적 계측 항목에 대한 분석창은 크게 자료검색 부분과 그래프 부분으로 나누어진다. 해당 화면에 있는 각 항목별 기능은 다음과 같다.



<정적 계측 항목 결과 분석 창 구성(예 : 경사계)>

⇒ 2D/3D : 그래프를 2차원 혹은 3차원 그래프로 표현.

⇒ 채널구성 : 해당 계측항목의 센서가 연결된 데이터로거와 채널정보를 확인

⇒ 닫기 : 해당 창을 종료한다.

⇒ 검색기간 : 조회하고자 하는 기간을 선택

⇒ 검색대상 : 확인하고자 하는 데이터의 표시간격(10분/시간/일)을 선택

⇒ 검색버튼 : 검색버튼을 클릭하면 하부에 그래프가 표현됨

⇒ 자료 그래프

- 2개 이상의 그래프가 그려진 경우 우측 Legend 체크 버튼을 클릭하여 해당 센서를 출력하거나 삭제할 수 있음
- 그래프 상에 마우스 오른쪽을 클릭하면, 그래프 설정, 데이터 저장 및 통계처리를 할 수 있는 서브 메뉴가 나타남.



<정적 계측 항목 그래프에 대한 서브메뉴>

○ Y축 범위 : 그래프의 Y축 범위를 조정

○ 데이터 정리 : 계측 결과 중 노이즈에 의해 발생된 데이터를 보정

○ 차트 미리보기 : 그래프를 출력하기 위한 미리보기 화면 출력

○ 차트 저장 : 그래프를 그림파일로 저장하거나 데이터를 텍스트파일로 저장

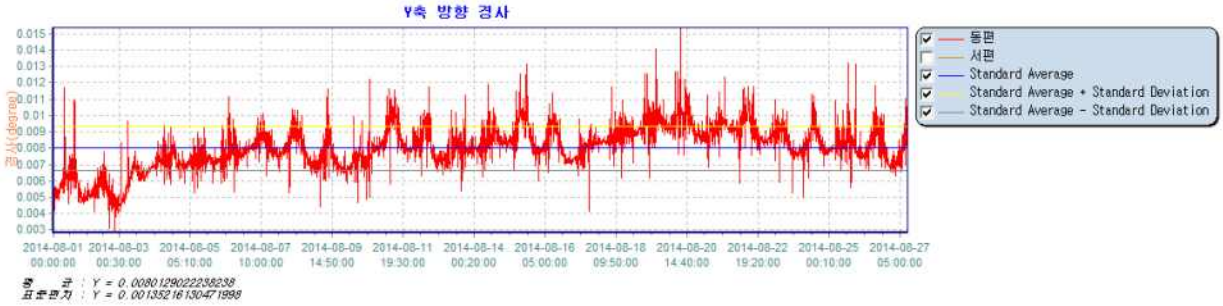
○ 엑셀로 전환 : 해당 데이터를 Microsoft Excel 파일로 생성

○ 통계처리 : 데이터를 통계분석(Curve Fitting, Standard Deviation, Average, Moving Average)한 결과를 그래프로 출력

○ 차트편집 : 그래프의 색깔, 축, Title 등 관리하기 위한 메뉴



<Curve Fitting 결과>



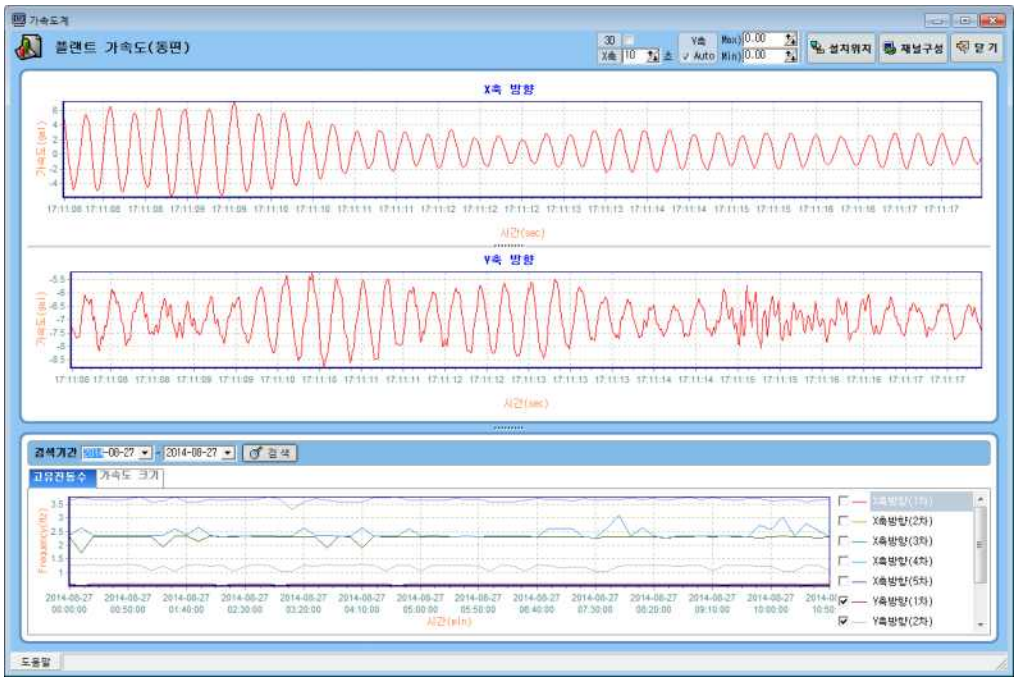
<Standard Deviation 계산 결과>



<Moving Average를 통한 노이즈 제거>

▽ 동적 계측 항목 결과 분석 창

동적계측항목에 대한 관리창은 크게 실시간 데이터 출력 부분, 자료검색 부분과 그래프 부분으로 나누어진다. 실시간 데이터 출력 부분을 제외하고 나머지 부분들의 기능은 정적계측항목 모니터링 관리와 동일하게 사용가능하도록 하였다. 실시간 데이터 출력 부분에 대한 기능은 다음과 같다.



<동적 계측 항목 결과 분석 창 구성(가속도계)>

⇒ Y축 Auto : 실시간 그래프 창의 Y축 범위를 자동으로 설정함

⇒ Y축 Min/Max : 실시간 그래프 창의 Y축 범위를 수동으로 설정함

⇒ 자료 그래프 : 그래프 상에 마우스 오른쪽을 클릭하면, FFT 분석 등을 할 수 있는 서브 메뉴가 나타남.



<동적계측항목 그래프에 대한 서브메뉴>

○ FFT 분석 : 실시간 데이터의 FFT를 통해 주파수를 분석

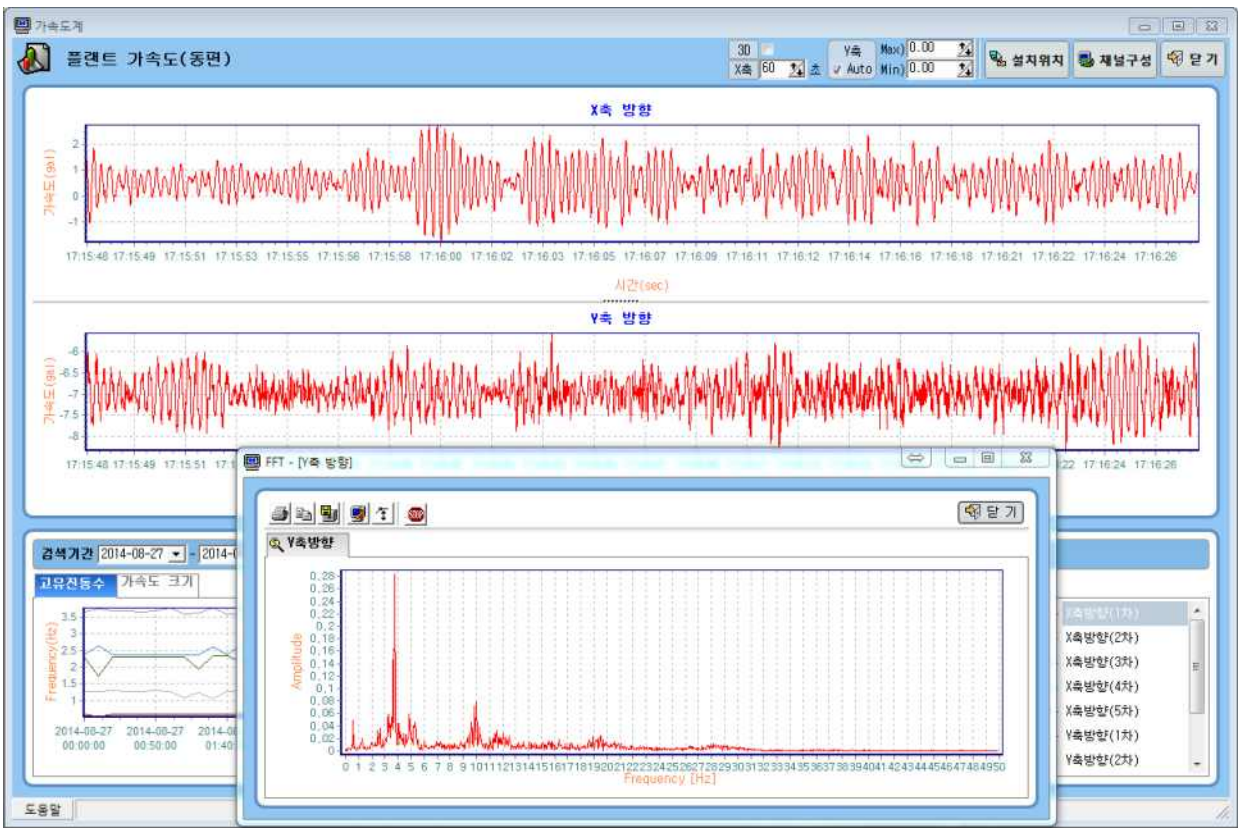
○ Y축 범위 : 그래프 Y축의 범위 지정

○ 차트 미리보기 : 그래프를 출력하기 위한 미리보기 화면 출력

○ 차트 저장 : 그래프를 그림파일로 저장

○ 엑셀로 전환 : 해당 데이터를 Microsoft Excel 파일로 생성

○ 차트편집 : 그래프의 색깔, 축, Title 등 관리하기 위한 메뉴

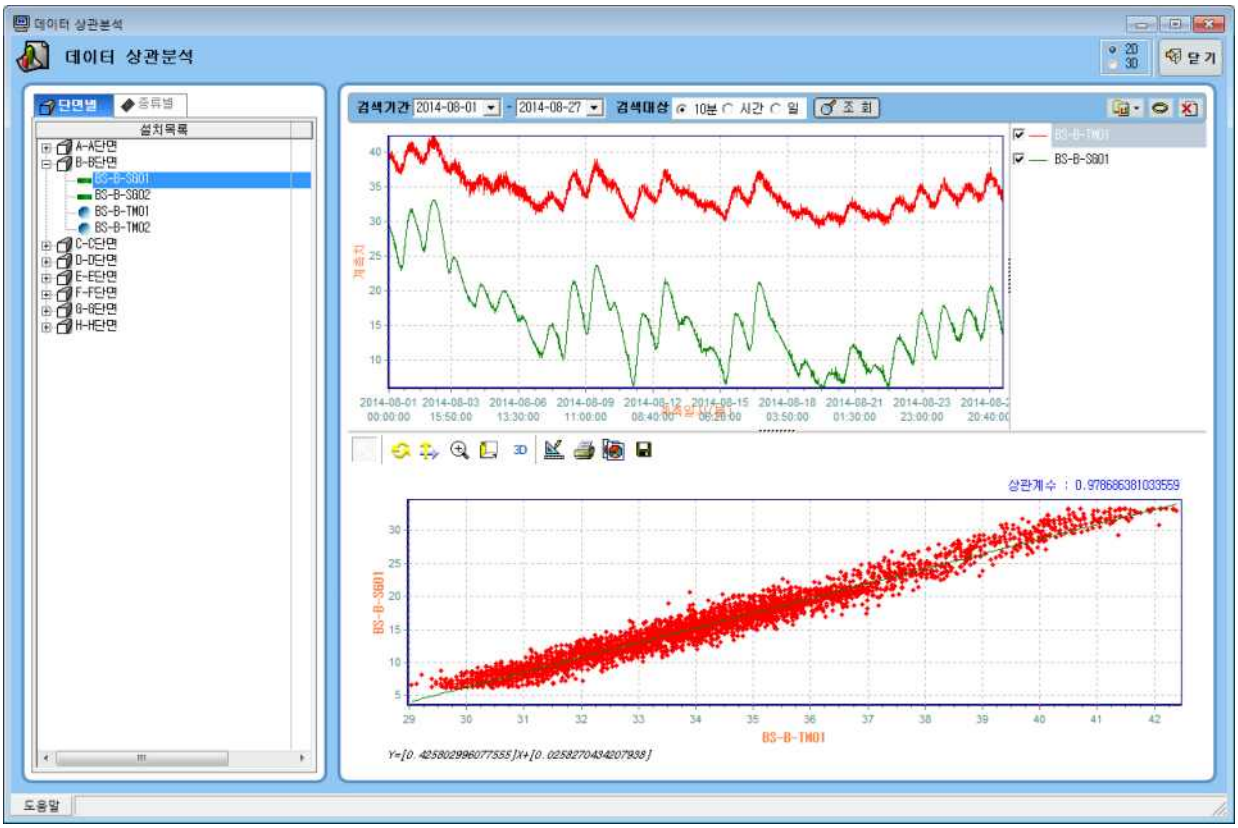


<동적 실시간 데이터 FFT 분석>

▽ 데이터 상관분석

일반적으로 구조물의 평가는 하중과 변위와의 상관관계를 이용하여 평가하거나 서로 다른응답간의 상관성을 이용하여 센서의 성능을 평가할 수 있다. 이러한 평가는 데이터 상관분석으로 가능하다. 데이터 상관분석 창의 기능은 정적 계측 항목 결과 분석 창과 거의 동일한다. 다만 틀린 점은 좌측의 측정 센서 목록에서 분석하고자 하는 2개의 센서를 더블클릭하여 선택한다는 점이다.

상관관계 분석을 위해서는 우측 상단의 고리 모양 버튼(상관계수)를 클릭하면 아래 쪽 그래프에 그래프가 그려지면서 상관계수를 계산해 준다. 또한 이들 상관관계를 나타내는 그래프에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면 정적 계측 항목 결과 분석 창과 동일하게 서브메뉴가 나타나 다양한 통계분석을 할 수 있다.



<데이터 상관관계 분석 예(온도 vs 변형률)>

(2) 향후 플랜트 시설물에 적용 가능한 상태 평가 기술 제시

플랜트 시설물의 상태 예측 기술을 개발하기 위해서, 구조물의 건전성 모니터링 체계가 수립되어야 한다. 이는 구조물의 상태를 정확하게 진단하고 구조 상태를 안전하게 유지하는데 주목적이 있다. 궁극적으로 이와 같은 체계를 구현하기 위해 그 핵심 부분인 플랜트 시설물의 건전성 모니터링 및 위험경보 기법을 개발하는 것이 본 연구 개발의 목표이다.

본 연구는 플랜트 시설물의 건전성 모니터링 및 위험경보 기법 개발을 위한 연구는 아래와 같이 네 단계로 수행되었다.

◇ 첫 번째로, 구조건전성 모니터링(Structural Health Monitoring) 관련 자료가 분석되었다. 먼저, 구조건전성 모니터링의 일반체계 및 구성요소가 검토되었다. 또한, 구조건전성 모니터링 관련의 국내외 연구개발 및 적용사례, 그리고 스마트 모니터링 연구현황이 분석되었다.

◇ 두 번째로, 플랜트 시설물에 적합한 건전성 모니터링 항목을 선정하였다. 먼저, 플랜트 시설물의 구조건전성 모니터링 및 위험경보 과정을 정리하였다. 다음으로, 플랜트 시설물의 위험유형(risk type)과 손상유형(damage type)을 분석하였으며, 이를 바탕으로 각 위험유형에 적합한 모니터링 항목을 선정하였다. 이를 위해, 기존의 연구에서 적합성이 검증된 건전성 모니터링 항목들을 소개하였다.

◇ 세 번째로, 대상구조물의 건전성 모니터링 및 위험경보 체계를 선정하였다.

본 연구개발의 목표와 연구개발 범위를 명확히 하기 위하여, “구조건전성 모니터링 및 위험경보”의 핵심용어를 아래와 같이 정의하였다.

가. 구조건전성(Structural Healthiness)

구조건전성은 구조물이 본래의 초기 구조 상태를 어느 정도 유지하고 있는지에 대한 설계상태 부합의 정도를 의미한다. 구조물의 건전성 여부 및 건전성의 정도는 구조손상의 발생유무 및 손상의 정도로서 파악될 수 있다. 구조손상(Structural Damage)은 구조계의 정상적인 거동에 악영향을 미치는 재료특성의 변화, 기하학적 형상의 변화, 경계조건의 변화 등으로 정의된다. 이와 같은 구조손상을 모니터링하기위해 이용되는 구조계의 특징은, 손상발생이 구조강성과 에너지소산특성 등을 변경시키며, 이는 동적응답특성의 변화로 나타난다는 점이다. 이와 같은 개념에서, 구조계의 동적응답 신호의 변화를 모니터링 하여 구조손상을 감지하는 기법은 이론적인 적합성을 갖는다.

나. 모니터링(Monitoring)

모니터링은 센서를 통한 신호취득, 신호분석을 통한 특징추출, 그리고 특징분류 등의 검진메커니즘을 의미하는 용어로서, 이를 활용하여 구조건전성의 변화를 감지하는데 목적이 있다. 이는 사용되는 센서와 활용되는 모니터링 항목에 따라 아래와 같이 분류된다.

◇ 정적 모니터링과 동적 모니터링 - 정적 모니터링은 정지 상태 가진에서 계측된 정적 응답신호를 이용하는 경우이며, 동적 모니터링은 동적 가진 응답 신호를 활용하는 경우이다.

◇ 국부(local) 모니터링과 전역적(global) 모니터링 - 국부 모니터링은 센서로부터의 응답신호가 센서위치 인접부의 거동 변화만을 감지하여 모니터링의 영역이 센서 인접부에 국한되는 경우이며, 전역적 모니터링은 센서로부터의 응답신호가 구조계 전 부분의 거동 변화를 감지하여 모니터링의 영역이 구조계 전체 영역인 경우이다. 통상 어떤 센서를 선정하느냐에 따라 국부 모니터링과 전역적 모니터링으로 구분되는데, 대표적인 국부 모니터링용 센서는 변형률계 및 변위계(경사계) 그리고 PZT 센서 등이 있으며, 전

역적 모니터링 센서로는 가속도계가 일반적으로 사용된다.

◇ 신호기반(signal-based) 모니터링과 모델기반(model-based) 모니터링 - 신호기반 모니터링은 센서로부터 취득된 동적응답 신호와 신호분석으로부터 추출된 진동특성 등의 특징정보(feature information)를 그대로 활용하여, 신호 또는 특징의 변화를 감지하고 이를 통해 구조계의 이상상태를 감지하는 모니터링이다. 모델기반 모니터링은 센서로부터 취득되어 분석을 통해 추출된 진동특성 등의 특징정보를 구조물의 형상과 재료 그리고 경계조건을 반영하는 구조모델에 입력하여 구조모델의 거동변화를 감지하여 구조상태의 변화를 모니터링 하는 방법이다.

◇ 시간영역(time-domain) 모니터링, 주파수영역(frequency-domain) 모니터링 및 공간영역(spatial- domain) 모니터링 - 시간영역 모니터링은 센서로부터 취득된 시간영역의 응답신호를 그대로 활용하는 경우이다. 특정신호의 정상·이상 판정을 위해 Level-Cross 기법이나 확률밀도함수 등 기본적인 통계기법이 활용된다. 주파수영역 모니터링은 시간영역 응답신호를 Fourier 변환을 통해 주파수영역으로 변환하여, 고유진동수와 모드형상 및 감쇠계수와 같은 진동모드특성을 추출하고, 주파수영역상의 이들 모드특성치의 변화를 감지하여 구조계의 이상상태를 예측하는 모니터링이다. 공간영역 모니터링은 시간영역 응답신호 또는 주파수영역 모드특성 정보를 구조계의 공간영역에서 분석하여 구조계의 이상상태를 식별하는 것이다. 시간영역 모니터링과 주파수영역 모니터링이 위험상태 발생을 인지하는 모니터링이라면, 공간영역 모니터링은 이들의 정보를 이용하여 모델기반에서 위험인자 발생위치(손상위치) 및 그 심각성(손상도) 검색을 위한 단계이다.

다. 위험경보(Risk Alarming)

위험(Risk)은 안전을 위협하는 상태로 정의된다. 플랜트 구조물의 안전을 위협하는 위험(risk of structure)은 휨 균열, 크리프, PC 강재의 부식 감소 등에 의한 구조전역, 국부위치 및 하부구조계의 구조특성의 변화, 구조물의 기하학적 형상 변화, 지점 및 연결점 등 경계조건의 변화로 인해 구조계의 안전이 위협받는 상태로 정의할 수 있다. 이와 같이 구조계의 안전이 위협받는 상태를 감지하고 이를 판정하는 것은 위험경보라고 정의할 수 있다. 경보는 아래와 같이 참 경보(True Alarm)와 거짓 경보(False Alarm)로 분류된다. 참 경보는 손상유무의 판정, 손상유형의 판별, 손상위치 및 손상크기 추정의 세 가지 단계로 구분된다. 또한 거짓 경보는 실제 발생하지 않은 상태를 경보하는 False Positive와 발생한 손상상태를 경보하지 못하는 False Negative로 구분된다. 구조계에 치명적인 위험요소의 발생을 경보하지 못한다는 점에서 False Negative의 경우가 가장 심각한 문제를 유발할 수 있다. 하지만, 실제로는 존재하지 않는 위험요인을 허위로 경보하는 False Positive의 경우 또한 위험경보시스템의 신뢰성을 떨어뜨린다.

◇ 참 경보(True Alarm)

○ Risk 발생 인지 : 손상유무의 판정

○ Risk 유형의 판정 : 손상유형의 판별

○ Risk의 범위 및 영향 : 손상위치 및 손상도 추정

◇ 거짓 경보(False Alarm)

○ False Positive : 실제 발생하지 않은 상태를 경보함

○ False Negative : 발생한 손상상태를 경보하지 못함

구조건전성 모니터링 및 위험경보 과정은 다음과 같이 4 단계로 분류될 수 있다.

◇ 1 단계 : 위험유형(risk type) 분류

◇ 2 단계 : 위험유형별 센서설치 및 신호취득

◇ 3 단계 : 센서별 신호분석 및 특징추출

◇ 4 단계 : 특징분류, 손상판정 및 위험경보

가. 위험유형(risk type) 분류 단계

구조건전성 모니터링의 첫 번째 단계는 대상 구조물에 발생 할 수 있는 위험의 유형을 분석하는 것이다. 케이슨 구조물의 위험요인은 외부적인 요인과 내부적인 요인으로 구분된다. 외부적인 요인으로는 설계 조건을 넘는 극한 하중, 피로하중, 충격하중 등의 외력조건의 변화 등을 들 수 있다. 내부적인 요인은 구조특성의 변화를 유발하는 것들로서 국부 균열 및 형상의 변화, 재료특성의 변화, 경계조건의 변화 등을 들 수 있다.

나. 위험유형별 센서설치 및 신호취득 단계

구조건전성 모니터링의 두 번째 단계는 위험 유형별로 센서를 선정하고 이를 대상구조물에 최적으로 설치하여 신호를 취득하는 것이다. 먼저, 가진 시스템을 선정한다. 가진기의 위치, 가진 형태 및 가진력의 크기 등이 결정된다. 다음으로, 전역적 모니터링 및 국부 모니터링에 적용 가능한 센서들이 선정된다. 본 연구에서는 가속도계, 변형률계, 변위계(경사계)등 세 가지 센서 타입이 고려되었다. 대상 구조물에 대한 실제 계측에는 압전형 (piezoelectric) 가속도계, 전기 저항식 변형률계 또는 광섬유 센서형(Optical Fiber Sensor) 변형률계, LVDT 변위계(경사계) 및 Thermocoupling 온도센서가 사용된다. 이들 센서를 활용한 모니터링은 특징추출 및 손상추정 단계를 위한 데이터 제공이 목적이다.

다. 센서별 신호분석 및 특징추출 단계

구조건전성 모니터링의 세 번째 단계는 센서별로 검진된 신호를 분석하여 진동특성 등의 특징을 추출하는 것이다. 단순한 신호분석 작업으로부터 복잡한 통계모델 및 구조모델 분석 작업이 수행되는 단계이다. 케이슨 구조물의의 건전도 모니터링을 위해 추출할 수 있는 특징정보를 아래와 같이 센서타입별로 정리하였다. 전체 14개의 특징정보가 추출된다. 가속도계의 경우는 8개의 특징정보를 추출할 수 있으며, 변형률계와 변위계(경사계)의 경우는 3개의 특징정보를 추출할 수 있다.

◇ 가속도계 신호의 경우

○ 가속도응답 시간이력(acceleration response history)

○ 주파수 응답함수(frequency response function)

○ 고유진동수 시간이력(time-frequency history)

○ 고유치 변화(change in eigenvalue)

○ 모드형상 변화(change in mode shape)

○ 모드형상의 곡률변화(change in mode shape curvature)

○ 고유진동수 기반 손상검색기법(FBDD)의 손상지수

○ 모드형상 기반 손상검색기법(MBDD)의 손상지수

◇ 변형률계 신호의 경우

○ 변형률 시간이력

○ 변형률 모드형상의 곡률변화

○ 변형률 모드형상기반 손상검색기법(Strain MBDD)의 손상지수

◇ 변위계(경사계) 신호의 경우

○ 변위 시간이력

○ 변형 모드형상의 곡률변화

○ 변형 모드형상기반 손상검색기법(Displacement MBDD)의 손상지수

라. 특징분류, 손상판정 및 위험경보 단계

구조건전성 모니터링의 네 번째 단계는 검진 신호로부터 추출된 특징정보들을 분류하여 손상여부 및 손상위치를 판정하고 위험경보를 결정하는 것이다. 위에 언급된 14개의 특징정보 각각에 대한 특징분류(feature classification) 및 손상식별(damage identification)을 위해 특징분류기법들이 사용되었다. 본 연구에서 사용된 네 가지 특징분류 기법을 아래와 같이 요약하였다.

◇ 도식적 관찰 - 도식적 관찰 기법은 손상 전후의 특징정보의 변화를 도식적으로 감지하는 것이다. 예를 들어, 손상 전후에 측정된 주파수응답함수(FRF)의 도식적인 비교를 통해 진동특성의 변화를 감지할 수 있다. 주파수응답함수내의 변화로는 특정 모드 주파수 대역의 천이, 새로운 고차 모드 응답의 발생 등이 있다.

◇ 허용한계 설정 - 허용한계 설정 기법은 특징정보의 허용한계를 임계값으로 설정하여 이를 초과하는 점을 이상상태 발생으로 판정하는 기법이다. 예를 들어, 특정위치에서 계측된 변형률이 임계변형률인 항복점 변형률을 초과하는지를 관찰하여 이상상태의 발생을 판정한다.

◇ 통계적 Level Cross - 통계적 Level Cross 기법은 정상 신호의 통계 모델의 표준 편차를 활용하여 Level Cross 한계를 정하고 특정 신호가 이 한계를 벗어나는 경우를 이상상태의 발생으로 판정하는 것이다. 예를 들어, 구조물 초기 상태의 변형률 시간응답에

대한 통계 모델을 구하여 Level Cross 한계를 설정하고, 임의 시간 경과후의 변형률 시간응답의 Level Cross 여부로부터 손상발생을 식별한다.

◇ 통계적 가설 검증(Hypothesis Sample Test) - 통계적 가설 검증(Hypothesis Test) 기법은 랜덤 변수인 특징정보를 통계적으로 처리하는 것으로, 구조계의 정상상태의 특징정보에 대한 z-곡선(표준정규분포곡선)을 구하고, 특정 특징정보가 z-곡선상의 기각영역(rejection area)에 속하는지를 식별하여 구조계의 이상상태를 판정하는 것이다. 예를 들어, 고주진동수기반 손상검색기법(FBDD)과 모드형상기반 손상검색기법(MBDD)은 구조계의 위치별 손상가능성을 손상지수로 산정하는데, 손상지수는 절대적인 물리적 의미보다는 구조계 위치간의 상대적 손상위험도를 나타낸다. 그러므로, 손상지수의 표준정규화 분포를 구하고, 기각영역을 설정하여, 특정위치 손상지수가 기각영역에 속하는지를 식별하여 그 위치에 이상상태가 발생한 것으로 판정한다.

본 연구에서 선정된 모니터링 항목에 대해서 아래와 같이 논하였다.

가. 모니터링 항목

플랜트 구조계의 이상상태 발생을 감지하고 손상위치와 크기를 검색하기 위한 모니터링 항목들이 아래의 표에 요약되었다. 먼저, 구조건전성 모니터링(SHM)은 신호기반과 모델기반 SHM으로 구분된다. 신호기반 모니터링은 센서링 및 신호검출(Level 0) 단계와 신호처리 및 신호기반 특징정보 추출(Level 1)단계로 분류되고, 모델기반 모니터링은 신호분석 및 모델기반 특징정보 추출(Level 2)단계와 신호가공 및 모델기반 특징정보 추출(Level 3)단계로 분류되어, 전체 4 Level로 분류된다.

◇ 센서링 및 신호검출(Level 0) - 구조건전성 모니터링의 첫 번째 Level로서 3가지 항목이 선정되었다. ⓐ가속도, ⓑ변형률, ⓒ변위. 이들의 모니터링은 다음 단계를 위한 데이터 제공이 목적이다. 대상구조물에 대한 실제 계측에는 압전형(piezoelectric)가속도계, 전기저항식 변형률계 또는 광섬유 변형률계, 및 변위계(경사계)가 사용된다.

◇ 신호처리 및 신호기반 특징정보 추출(Level 1) - 5가지 모니터링 항목이 선정되었다. ⓓ가속도계 신호의 주파수응답, ⓔ가속도계 신호의 고유진동수 시간이력, ⓕ가속도의 시간이력, ⓖ변형률계 신호의 변형률 시간이력, ⓗ변위계(경사계)의 변위 시간이력. 이들의 모니터링은 신호기반으로 국부 또는 전역적인 이상상태의 발생 유무를 감지하기 위한 것이다.

◇ 신호분석 및 모델기반 특징정보 추출(Level 2) - 4가지 모니터링 항목이 선정되었다. ⓘ가속도계의 고유치변화율, ⓚ가속도계의 곡률변화율, ⓛ변형률계의 곡률변화율, ⓜ변위계(경사계)의 곡률변화율. 이들의 모니터링은 모델기반으로 국부 또는 전역적인 초기 균열 발생 등 이상상태의 발생 유무를 감지하기 위한 것이다.

◇ 신호가공 및 모델기반 특징정보 추출 단계(Level 3) - 4가지 모니터링 항목이 선정되었다. ⓝ고유진동수 기반 손상검색(FBDD), ⓞ모드형상 기반 손상검색(MBDD), ⓟ변형률 모드형상 기반 손상검색(변형률 MBDD), ⓠ변위 모드형상 기반 손상검색 (변위 MBDD). 이들의 모니터링은 모델기반으로 전역적 손상발생 유무 및 국부 손상발생 위치 및 손상정도를 평가하기 위한 것이다.

<플랜트 구조계의 모니터링 항목의 선정>

SHM 구분	SHM Level	모니터링 항목		플랜트 구조계의 SHM 항목		
				위험유형		
				Data 제공	이상유무	손상검색
신호기반 SHM	Level 0	ⓐ 가속도		○		
		ⓑ 변형률		○		
		ⓒ 변위		○		
	Level 1	가속도	ⓓ 주파수응답함수		△	
			ⓔ 웨이브렛 변환		△	
			ⓕ 고유진동수 시간이력		△	
			ⓖ 가속도 시간이력		△	
		변형률	ⓗ 변형률 시간이력		▼	
		변위	ⓘ 변위 시간이력		▼	
모델기반 SHM	Level 2	가속도	ⓙ 고유치변화율		△	
			ⓚ 곡률변화		▼	
		변형률	ⓛ 곡률변화		▼	
		변위	ⓜ 곡률변화		▼	
	Level 3	가속도	ⓝ FBDD			△▼
			ⓞ MBDD			△▼
		변형률	ⓟ 변형률 MBDD			△▼
		변위	ⓠ 변위 MBDD			△▼

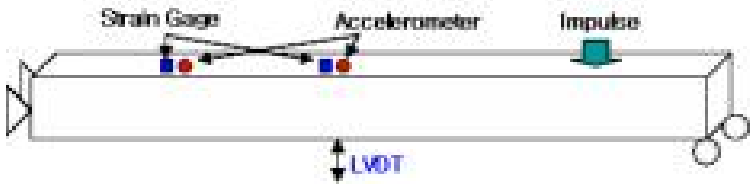
1) 표에서, “Data제공”은 다른 SHM 단계를 위한 데이터 제공을 위한 모니터링을 의미하며, “이상유무”는 이상상태 발생유무 감지를 위한 모니터링을 의미하며, “손상검색”은 손상위치 및 크기 검색을 위한 모니터링을 의미한다.

2) 표의 기호에서, "△"은 센서위치에 제한되지 않고 전역적 이상상태 감지에 적용 가능한 경우를 의미하며, "▼"은 센서위치에 제한적으로 국부적 이상상태 감지에 적용 가능한 경우를 의미하며, “△▼”는 국부영역 및 전역적 손상검색에 모두에 적용 가능한 경우를 의미한다.

나. 가진 및 검진 센서 고려사항

본 연구에서는 임펄스(impulse) 충격 가진을 사용하고자 한다. 임펄스 충격 가진 체계에서 고려하여야 할 사항은 가진위치, 가진 방향, 가진력의 크기, 가진 주파수, 그리고 이에 적합한 임펄스 가진기 등이다. 가속도, 변형률 및 변위 계측에서는 검진 주파수 영역에 적합한 센서의 선정, 센서의 위치 및 방향, 그리고 샘플링 주파수가 선정되어야 한다.

그림 30은 가진 및 검진 센서의 체계를 보여준다. 임펄스 가진력은 상부 콘크리트 Deck에 연직방향으로 가해지며, 그림 31과 같은 임펄스 가진력이 가해진다. 가속도 센서는 거더의 중립축에 연직방향으로 설치되어, 그림 32과 같은 가속도 응답신호가 계측된다. 변형률 센서는 거더 상단 또는 하단에 종축 방향으로 설치되며, 그림 33와 같은 변형률 응답신호가 계측된다. 변위 센서는 거더의 하단에 연직방향으로 설치며, 그림 34과 같은 변위 응답신호가 계측된다.



<그림 30> 가진 및 검진센서 체계

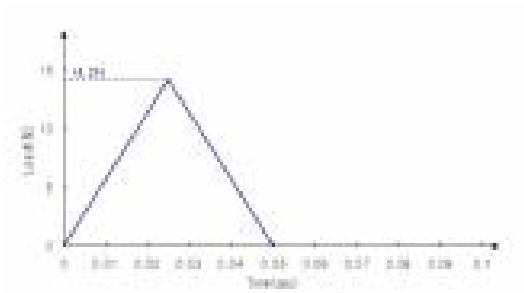


그림 31 Impulse 가진력

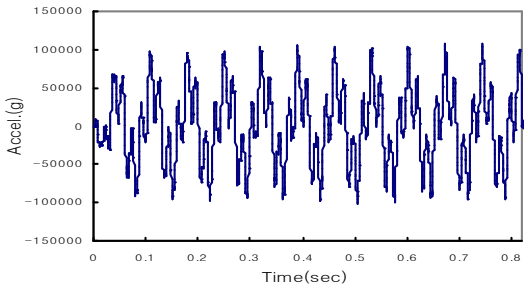


그림 32 가속도 응답신호

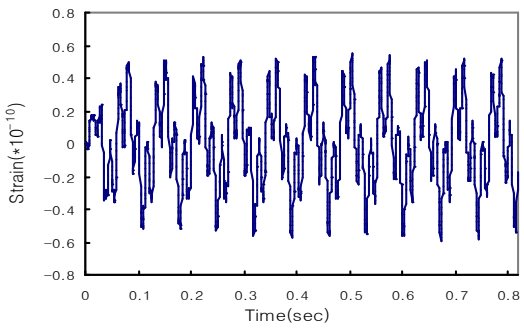


그림 33 변형률 응답신호

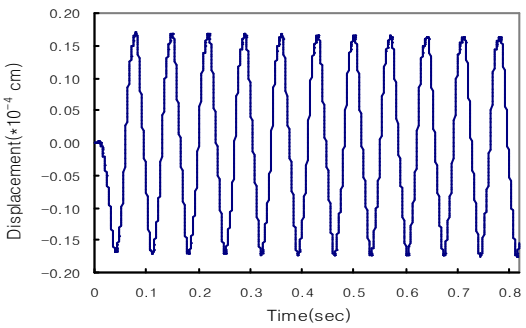


그림 34 변위응답신호

다. 주파수응답함수

가속도계 신호의 주파수응답은 전역적인 이상상태 감지가 가능한 모니터링이다. 그림 35은

주파수응답함수 모니터링의 알고리즘을 요약한 것이다. 먼저, 고유진동수 시간이력을 검출할 가속도계 위치를 선정한다. 다음으로, 가진 실험에서 가속도 응답신호를 계측하고, FFT 변환을 통해 임의 주파수대역의 주파수응답함수(frequency response function)를 구한다. 특징분류 및 손상판별은 주파수응답함수의 도식적 관찰을 통해 수행된다. 그림 36은 가속도 신호로부터 추출한 주파수응답함수의 일례이다.

Step 1. 입력 : 가속도 응답 $a(t)$

Step 2. 특징 추출 : 주파수응답함수(FRF)

$$F(k) = \sum_{j=0}^{N-1} x(j) \exp\left[-i2\pi \frac{ik}{N}\right] \cdot \frac{T}{N}$$

Step 3. 특징 판별 : FRF 곡선의 변화 감지

그림 35 주파수 응답 함수 모니터링 알고리즘

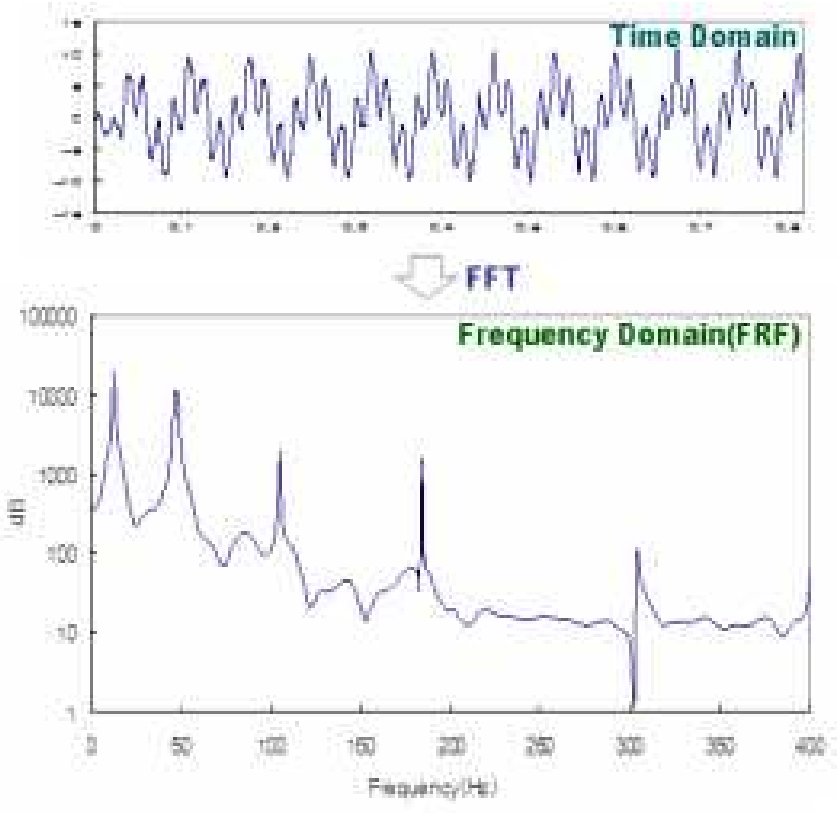


그림 36 주파수 응답함수

라. 웨이블렛 변환 신호분해

가속도계 신호의 웨이블렛 변환을 통한 신호분해는 전역적인 이상상태 감지가 가능한 모니터링 항목이다. 그림 37은 웨이블렛 변환 신호분해 알고리즘을 요약한 것이다. 먼저, 대상 구조계에 대한 고유진동해석으로부터 모드별 고유진동수를 분석한다. 다음으로, 가진 실험에서 가속도 응답신호를 계측하고, 웨이블렛(wavelet) 변환을 이용한 분해(decomposition)를 통해 주파수 대역별로 가속도 신호를 추출한다. 특징분류 및 손상판별은 주파수 대역별로 분해된 가속도 신호의 도식적 관찰을 통해 수행된다. 그림 38는 가속도 응답신호로부터 추출한 웨이블렛 변환 신호분해의 일례이다.

Step 1. 입력 : 모드별 고유진동수, 가속도 응답신호 $a(t)$

Step 2. 특징 추출 : 웨이블렛 변환 신호분해

$$f(x)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{0,k}\phi_{0,k}(x)+\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k}\psi_{j,k}(x)$$

Step 3. 특징 판별 : 웨이블렛 변환 신호분해의 도식적 비교

그림 37 웨이블렛 변환을 이용한 모니터링 알고리즘

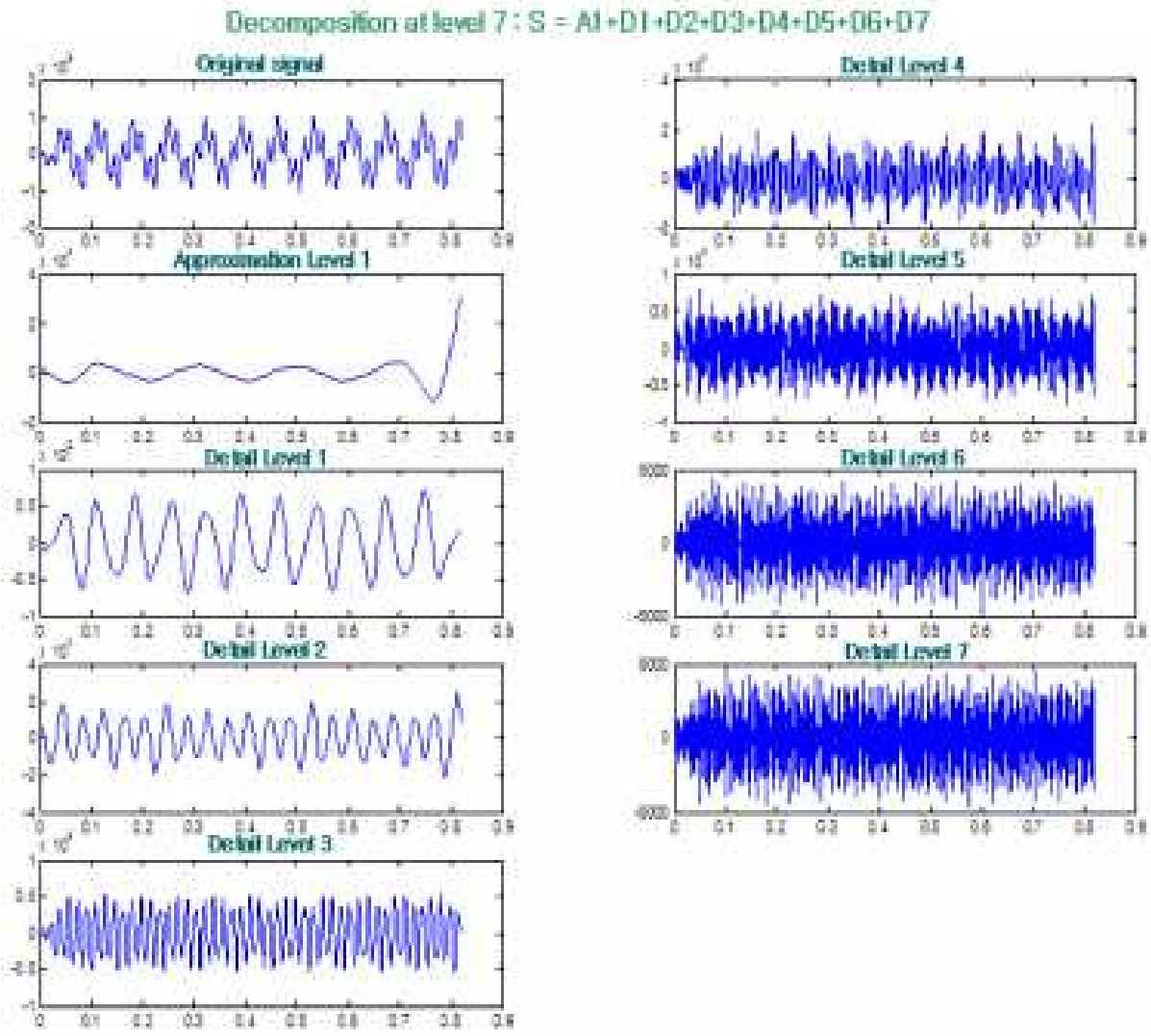


그림 38 웨이블렛을 이용한 신호분리

마. 고유진동수 시간이력

가속도계 신호의 고유진동수 시간이력은 전역적인 이상상태 감지를 위한 모니터링이다. 그림 29는 고유진동수 시간이력 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 먼저, 고유진동수 시간이력을 검출할 가속도계 위치를 선정한다. 다음으로, 임의 시간에 계측된 가속도 $a(t)$의 FFT 또는 STFT 분석을 통해 특정 주파수 대역의 진동모드의 고유진동수를 추출하고, 이 STFT을 일정시간의 경과에 따라 주기적으로 수행하여 시간-고유진동수 관계를 분석하는 작업이다. 휨 균열의 발생 유무는 시간-고유진동수 관계의 불연속 발생으로 감지된다.

Step 1. 입력 : 가속도 $a(t)$, 모드 및 고유진동수

Step 2. 특징 추출 : 모드별 시간-고유진동수 관계

Step 3. 특징 판별 : 시간-고유진동수 곡선의 불연속 발생

그림 39 고유진동수 시간이력 모니터링 알고리즘

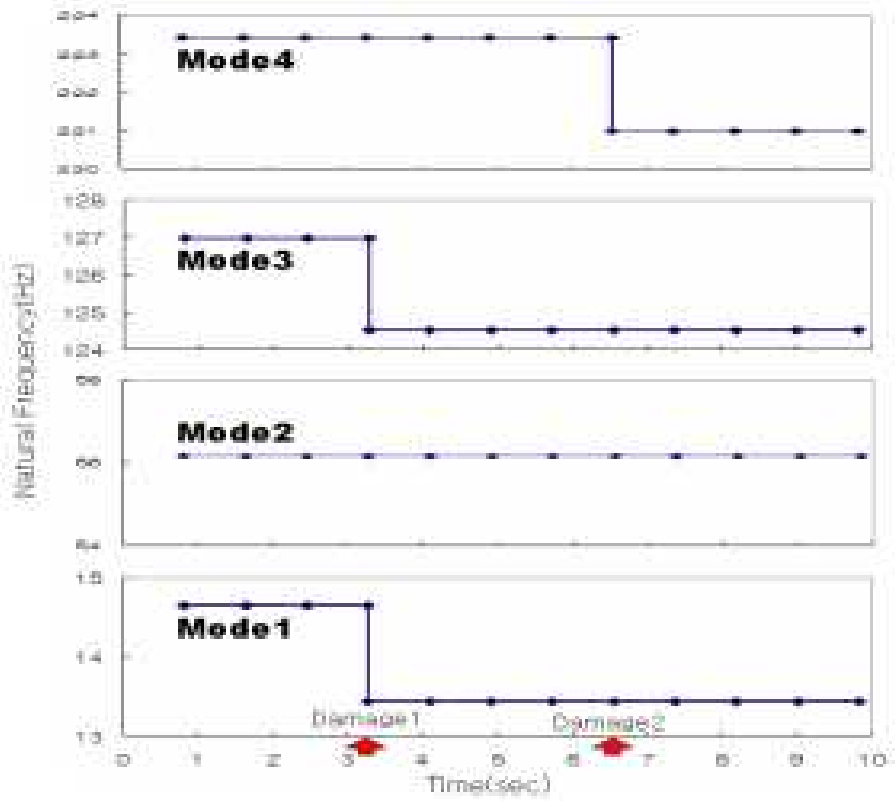


그림 40 고유진동수 시간이력 시간응답

바. 가속도 시간이력

가속도 시간이력은 구조계의 전역적 이상상태 감지를 위한 모니터링이다. 그림 41은 가속도 시간이력 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 첫 번째로, 변형률 시간이력을 검출할 대상 국부 영역을 선정한다. 두 번째로, 임의 시간 동안 비 손상 구조계로부터 가속도을 계측하고, 후속 시간 동안 손상 구조계로부터 가속도을 계측한 후 각각의 표준정규분포곡선을 구한다. 특징분류 및 손상판별을 위해 표준정규분포곡선의 변화를 도식적으로 분석한다. 세 번째로, 시간 동안 계측된 비 손상 구조계가속도의 절대 값과 후속 시간의 가속도 절대 값을 구한다. 통계적 Level Cross 한계로서 μ+Kσ을 설정한다. 여기서, μ와 σ는 비 손상 구조계의 평균과 표준편차이다. 특징분류와 손상판별을 위해 전체 가속도 시간이력중 Level

Cross 한계를 초과하는 경우를 식별한다. 임의 신호가 비 손상 구조계의 μ+Kσ의 범위를 초과했는지의 여부를 확인하여 이상상태의 발생 유무를 결정한다. 그림 42은 가속도 시간이력 모니터링의 일례이다. 그림 42(a)는 손상 전후 가속도 신호의 표준정규분포곡선을 도시한 것이며, 그림 42(b)는 손상 전후 가속도 절대값의 Level Cross 초과 여부를 식별하는 그림이다. 위의 과정은 연속적인 수행이 가능하며 이를 통계적 적응알고리즘이라 한다.

Step 1. 입력 : 가속도 $a(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① $a(t)$의 표준정규분포 곡선
② $|a(t)|$의 Level Cross 한계

Step 3. 특징 판별 : ① 표준정규분포 곡선의 변화
② $|a(t)|$의 Level Cross 초과여부

그림 41 가속도 시간이력 모니터링 알고리즘

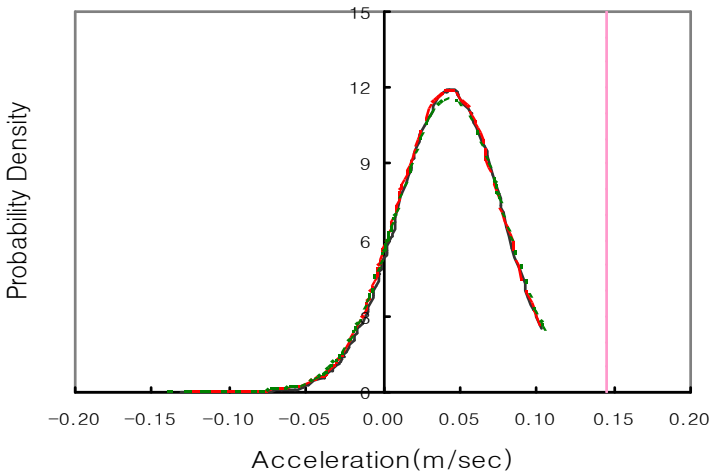


그림 B.42(a) 가속도 표준정규본포곡선

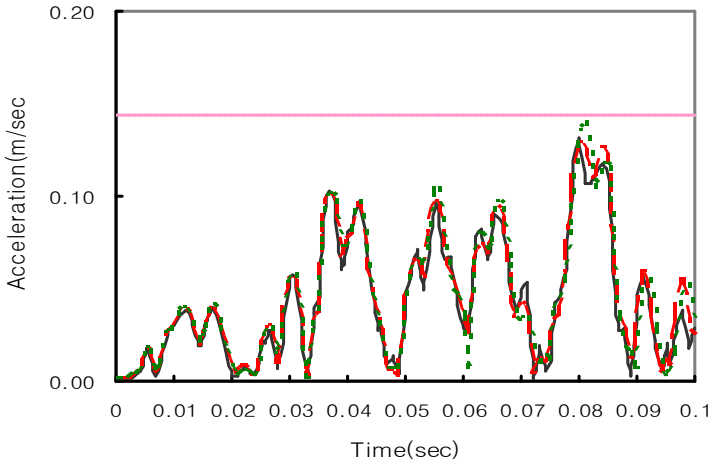


그림 B.42(b) 가속도의 Level Cross

사. 변형률 시간이력

변형률 시간이력은 신호를 검출한 (센서가 부착된) 국부 영역의 이상상태 감지를 위한 모니터링이다. 그림 43은 변형률 시간이력 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 첫 번째로, 변형률 시간이력을 검출할 대상 국부 영역을 선정한다. 두 번째로, 임의 시간 동안 비 손상 구조계로부터 변형률을 계측하고, 후속 시간 동안 손상 구조계로부터 변형률을 계측한 후 각각의 표준정규분포곡선을 구한다. 특징분류 및 손상판별을 위해 표준정규분포곡선의 변화를 도식적으로 분석한다. 세 번째로, 시간 동안 계측된 비 손상 구조계변형률의 절대 값과 후속 시 의 변형률 절대 값을 구한다. 통계적 Level Cross 한계로서 μ+Kσ을 설정한다. 여기서, μ와 σ는 비 손상 구조계의 평균과 표준편차이다. 특징분류와 손상판별을 위해 전체 변형률 시간이력 중 Level Cross 한계를 초과하는 경우를 식별한다. 임의 신호가 비 손상 구조계의 μ+Kσ의 범위를 초과했는지의 여부를 확인하여 이상상태의 발생 유무를 결정한다. 기호 K 는 앞서 정의된 Confidence Level 상수이다. 그림 34는 변형률 시간이력 모니터링의 일례이다. 그림 44(a)는 손상 전후 변형률 신호의 표준정규분포곡선을 도시한 것이며, 그림 44(b)는 손상 전후 변형률 절대 값의 Level Cross 초과 여부를 식별하는 그림이다.

Step 1. 입력 : 변형률 $\varepsilon(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① $\varepsilon(t)$의 표준정규분포 곡선
② $|\varepsilon(t)|$의 Level Cross 한계

Step 3. 특징 판별 : ① 표준정규분포 곡선의 변화
② $|\varepsilon(t)|$의 Level Cross 초과여부

그림 44 변형률 시간이력 모니터링 알고리즘

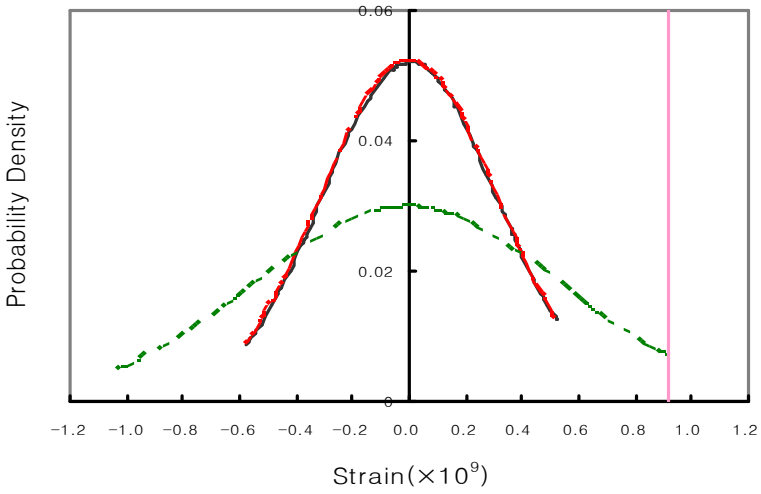


그림 44(a) 변형률 표준정규분포 곡선

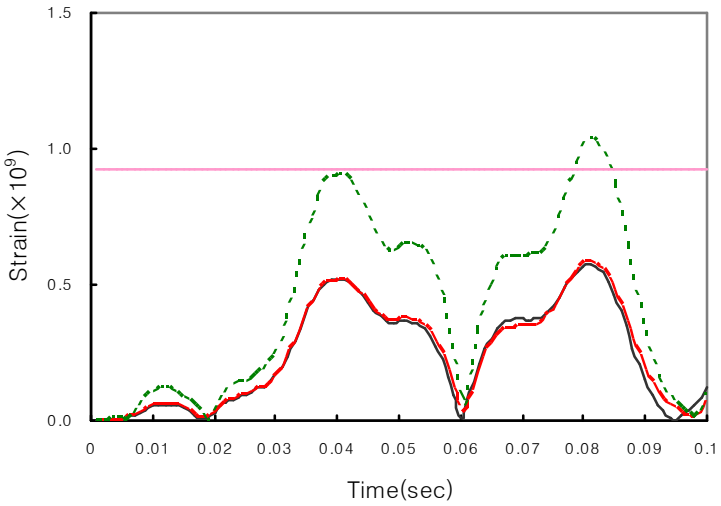


그림 44(b) 변형률의 Level Cross

아. 변위 시간이력

변위 시간이력은 신호를 검출한 (센서가 부착된) 국부 영역의 이상상태 감지를 위한 모니터링이며, 앞서 설명된 변형률 시간이력의 분석과정과 유사하다. 그림 45은 변위 시간이력 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 임의 시간동안 비 손상 구조계로부터 변위을 계측하고, 후속 시간 동안 손상 구조계로부터 변위을 계측한 후 각각의 표준정규분포곡선을 구한다. 특징분류 및 손상판별을 위해 표준정규분포곡선의 변화를 도식적으로 분석한다. 또한, 비 손상 구조계 변위의 절대 값과 손상 구조계의 변위 절대 값을 구한다. 통계적 Level Cross 한계로서 μ+Kσ을 설정한다. 여기서, μ와 σ는 비 손상 구조계의 평균과 표준편차이다. 특징분류와 손상판별을 위해 전체 변위 시간이력 중 Level Cross 한계를 초과하는 경우를 식별한다. 임의 신호가 비 손상 구조계의 μ+Kσ의 범위를 초과했는지의 여부를 확인하여 이상상태의 발생 유무를 결정한다. 기호 K 는 앞서 정의된 Confidence Level 상수이다. 그림

46은 변위 시간이력 모니터링의 일례이다. 그림 46(a)는 손상 전후 변위 신호의 표준정규분포곡선을 도시한 것이며, 그림 46(b)는 손상 전후 변위 절대 값의 Level Cross 초과 여부를 식별하는 그림이다.

Step 1. 입력 : 변위 $\delta(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① $\delta(t)$의 표준정규분포 곡선
② $|\delta(t)|$의 Level Cross 한계

Step 3. 특징 판별 : ① 표준정규분포 곡선의 변화
② $|\delta(t)|$의 Level Cross 초과여부

그림 45 변위 시간이력 모니터링 알고리즘

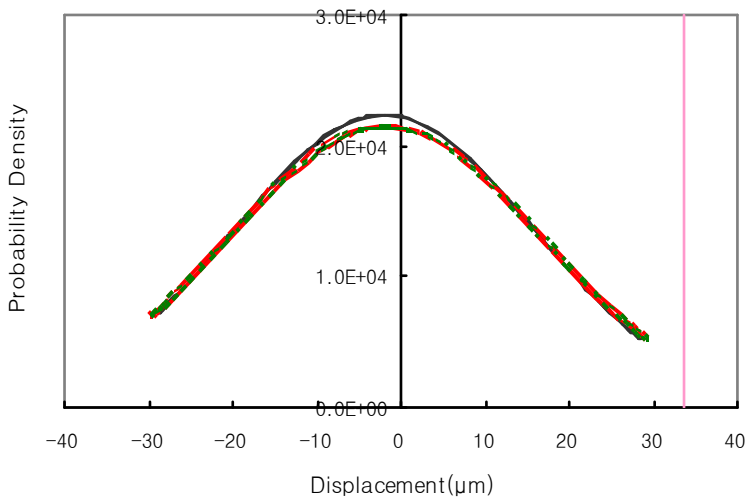


그림 46(a) 변위 표준정규분포곡선

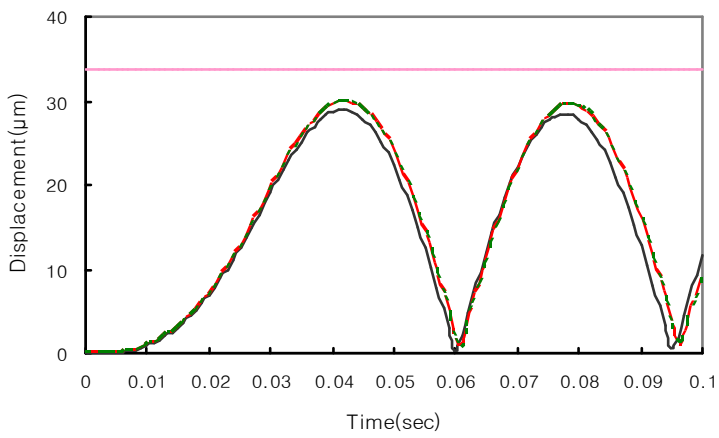


그림 46(b) 변위의 Level Cross

자. 고유치 변화율

가속도계 신호의 고유치 변화율은 구조계의 전역적인 이상상태를 감지할 수 있는 모니터링 항목이다. 그림 47는 고유치 변화율 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 가진 응답신호로부터 구조물 초기상태의 주파수응답함수를 계측한다. 대상 진동모드를 계측하기위해 가속도계 센서의 위치는 신중히 선정되어야 한다. 이로부터 구조물 초기 고유치 을 계산한다. 다음으로, 임의 시간 경과후의, 손상 발생 후의, 고유치 변화율 을 구한다. 고유치 변화율은 모드 강성변화율과 일치한다는 이론에 근거하여, 고유치 변화율의 변화를 감지하여 구조시스템 강성의 변화를 예측하고 손상발생 유무를 모니터링 하는 방법이다. 그림 48은 고유치 변화율 모니터링의 일례이다.

Step 1. 입력 : 가속도 신호응답 $a(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① 고유진동수 f_i

② 고유치 $\lambda_i = (2\pi f_i)^2$

③ 고유치 변화율 $\Delta\lambda_i / \lambda_i$

Step 3. 특징 판별 : ① 고유치 변화율 $\Delta\lambda_i / \lambda_i$의 증감

② 모드 강성 변화율(=고유치변화율) 증감

그림 47 고유치 변화율 모니터링 알고리즘

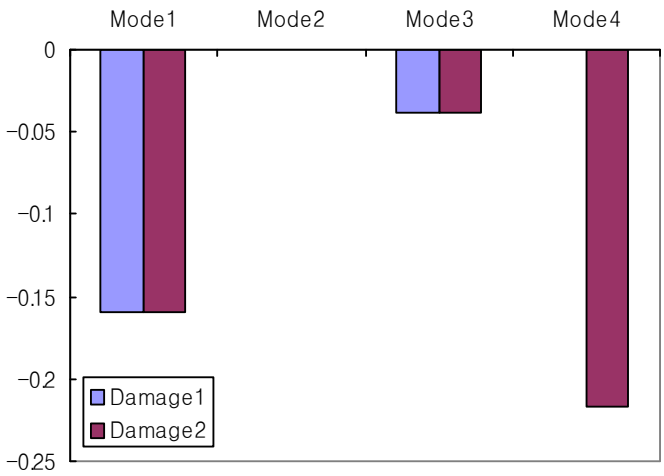


그림 48 고유치 변화율 모니터링

차. 가속도 신호의 곡률변화

가속도계 신호의 곡률변화율은 국부 센서 영역의 이상상태를 감지 할 수 있는 모니터링

항목이다. Wolff 등(1989), Mitchell(1997), Yoo 등(1999)은 가속도응답, 변위응답, 변형률응답으로부터 진동모드형상을 추출하고, 진동모드형상의 변화를 감지하여 손상발생 유무를 식별하는 연구를 수행하였다. Mitchell(1997)의 연구에서는 이들이 제시한 모드형상 기반 손상검색기법 중, MAC(modal assurance criterion)보다는 IMAC(inverse modal assurance criterion)이 손상에 의해 야기되는 미소한 모드형상의 변화에 보다 민감한 것으로 나타났다. 또한, 손상위치를 감지하기위해 ADSM(absolute difference of strain mode shape)을 사용하였는데, 그 결과는 CoMAC(coordinate modal assurance criterion)의 결과보다 좋았다. 하지만 모드형상기반 모니터링의 경우에는 사용하는 모든 모드를 정확하게 식별해야 하는 어려움이 따르며, ADSM 기법의 경우에는 모드형상의 절대값을 비교해야 하는 문제점을 가지고 있다.

이와 같은 문제점을 극복하고 동시에 ADSM 기법의 장점을 살리기 위해 본 연구에서는 모드형상의 상대적인 변화를 활용하였다. 그림 49은 곡률 변화 및 곡률 각 변화 모니터링 알고리즘을 요약한 것이다. 먼저, 곡률변화율을 검출할 가속도계 위치를 선정한다. 다음으로, 진동가진 실험으로부터 구조물 초기상태의 가속도응답을 계측하고 주파수응답함수를 분석하고 이로부터 구조물 초기상태의 기본 모드(진동모드 1)의 모드형상을 추출한다. 수치적인 방법을 통해 각 센서위치의 모드형상 곡률을 계산한다. 임의 시간 경과 후, 손상 발생 후의, 기본 모드의 모드형상 및 곡률을 구한다. 손상 전후의 모드형상의 곡률변화를 감지하여, 국부 센서영역의 이상상태 및 손상발생 유무를 식별한다. 다음으로, 각 센서위치의 모드형상 곡률 각을 계산한다. 국부 센서위치에서 손상 전후 이들 곡률 변화각의 차이를 감지하여 해당 위치의 국부 손상여부를 모니터링 한다. 그림 50는 곡률변화율 모니터링의 일례이다.

Step 1. 입력 : 가속도 $a(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① 모드형상 (ψ_1)
② 모드형상 곡률 (ψ_1'')
③ 모드형상 곡률각 $\angle(\psi_1'')$

Step 3. 특징 판별 : ① 모드형상 곡률의 변화량
② 모드형상 곡률각의 변화량

그림 49 곡률변화 모니터링 알고리즘그림

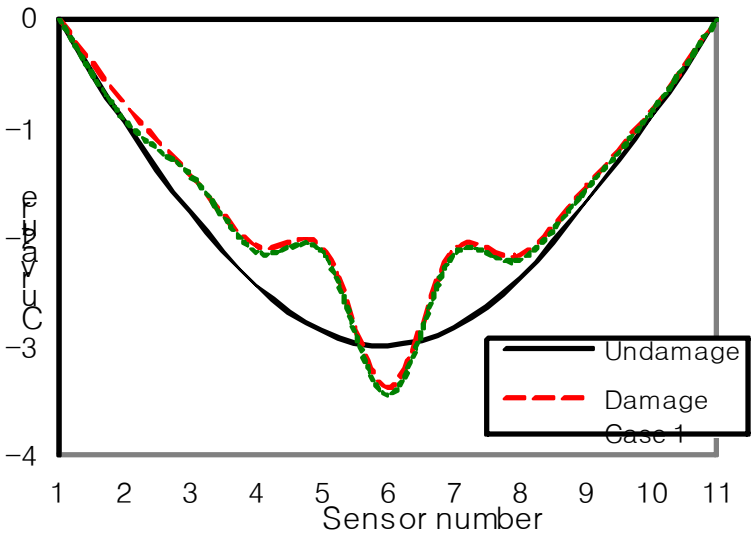


그림 50 가속도 신호의 곡률변화 모니터링

카. 변형률 신호의 곡률변화

변형률 신호의 곡률변화는 국부 센서 영역의 이상상태를 감지 할 수 있는 모니터링 항목이다. 그림 51와 같은 곡률 변화 및 곡률각 변화 모니터링 알고리즘을 사용하였다. 먼저, 곡률변화율을 검출할 변형률계 위치를 선정한다. 다음으로, 진동가진 실험으로부터 구조물 초기상태의 변형률 응답을 계측하고 주파수응답함수를 분석하여, 이로부터 구조물 초기상태의 일차 모드의 변형률 모드형상을 추출한다. 수치적인 방법을 통해 각 센서위치의 변형률 모드형상 곡률을 계산한다. 임의 시간 경과 후, 손상 발생 후의, 모드형상 및 곡률을 구한다. 손상 전후의 변형률 모드형상의 곡률변화를 감지하여, 국부 센서영역의 이상상태 및 손상발생 유무를 식별한다. 다음으로, 각 센서위치의 모드형상 곡률각을 계산한다. 국부 센서위치에서 손상 전후 이들 곡률 변화각의 차이를 감지하여 해당 위치의 국부 손상여부를 모니터링 한다. 그림 52은 변형률 모드형상 곡률변화율 모니터링의 일례이다.

Step 1. 입력 : 변형률 응답 $\varepsilon(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① 변형률 모드형상 (ϕ_1)

② 변형률 모드형상 곡률 (ϕ_1'')

③ 변형률 모드형상 곡률각 $\angle(\phi_1'')$

Step 3. 특징 판별 : ① 변형률 모드형상 곡률의 변화

② 변형률 모드형상 곡률각의 변화

그림 51 곡률 변화 모니터링 알고리즘

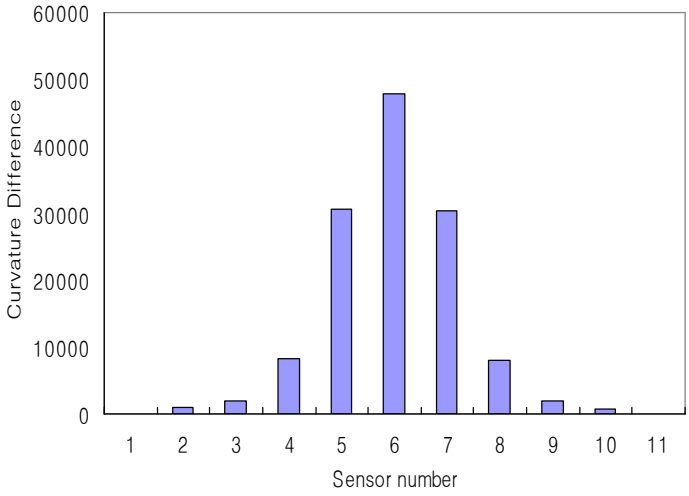


그림 52 변형률 신호의 곡률 변화 모니터링

타. 변위 신호의 곡률변화

변위 신호의 곡률변화는 국부 센서 영역의 이상상태를 감지 할 수 있는 모니터링 항목이다. 그림 53과 같은 곡률 변화 및 곡률각 변화 모니터링 알고리즘을 사용하였다. 먼저 곡률변화를 검출할 변위계(경사계) 위치를 선정한다. 다음으로, 진동가진 실험으로부터 구조물 초기상태의 변위응답을 계측하고 주파수응답함수를 분석하여, 이로부터 구조물 초기상태의 일차 모드의 변위 모드형상을 추출한다. 수치적인 방법을 통해 각 센서위치의 변위 모드형상 곡률을 계산한다. 임의 시간 경과 후, 손상 발생 후의, 변위 모드형상 및 곡률을 구한다. 손상 전후의 곡률변화를 감지하여, 국부 센서영역의 이상상태 및 손상발생 유무를 식별한다. 다음으로, 각 센서위치의 변위 모드형상 곡률각을 계산한다. 국부 센서위치에서 손상 전후 이들 곡률 변화각의 차이를 감지하여 해당 위치의 국부 손상여부를 모니터링 한다. 그림 44은 변위 모드형상 곡률변화율 모니터링의 일례이다.

Step 1. 입력 : 변위 응답 신호 $\delta(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① 변위 모드형상 (ω_i)
② 변위 모드형상 곡률 $(\omega_i^{"})$
③ 변위 모드형상 곡률각 $\angle(\omega_i^{"})$

Step 3. 특징 판별 : ① 변위 모드형상 곡률 변화
② 변위 모드형상 곡률각 변화

그림 53 곡률변화 모니터링 알고리즘

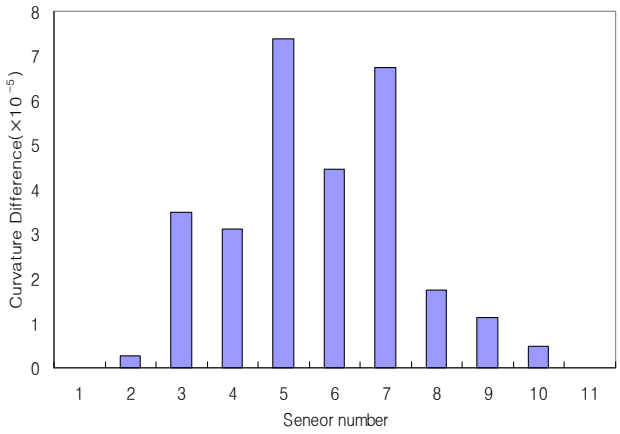


그림 54 변위 신호의 곡률변화 모니터링

파. 고유진동수 기반 손상검색(FBDD)

고유진동수 기반 손상검색(Frequency-Based Damage Detection)은 전역적 이상상태 감지 및 국부적 손상위치 검색을 할 수 있는 모니터링 항목이다. 고유진동수 기반 손상위치 검색 기법은 Kim 등(2003)에서 제시한 알고리즘을 사용하였다. 그림 55은 Kim 등(2003)이 제시한 FBDD 알고리즘을 요약한 것이다. 첫 번째로, 고유진동수를 검출할 가속도계 위치를 선정한다. 진동가진 실험으로부터 구조물 초기상태의 가속도응답을 계측하고 주파수응답함수를 분석하고 이로부터 구조물 초기상태의 고유진동수를 추출한다. 손상 전후의 고유진동수를 계측하여 모드 i의 고유치의 변화율를 구한다. 두 번째로, 대상 구조계에 대한 고유진동해석으로부터 모드 i의 모드형상를 구하여, 모드 i와 위치 j의 모드민감도를 구한다. 세 번째로, 모드 i와 위치 j에서 손상위치지수를 계산한다. 특징분류 및 손상판별은 통계적 가설검증 기법을 활용하여 수행한다. 통계적인 패턴인식에 의해 가설검증의 기각영역을 98.7% 또는 99.8% 신뢰도로 설정한다. 손상위치지수를 정규화한 후, 위치 j의 정규 손상지수가 기각영역에 속하는 지(즉, 손상되었는지) 여부를 식별한다. 그림 56은 고유진동수 기반 손상검색 모니터링의 일례이다.

Step 1. 입력 : 가속도응답 $a(t)$, 고유진동 모드형상 $\phi(t)$

Step 2. 특징 추출 : ① 고유치 변화율 $Z_i = \Delta\omega_i^2 / \omega_i^2$

② 모드 민감도 $F_{ij} = \dfrac{\{\phi_i\}^T [C_j] \{\phi_i\}}{\{\phi_i\}^T [C] \{\phi_i\}}$

③ 손상위치 지수 $e_{ij} = Z_m / \sum_{k=1}^{NM} Z_k - F_{mq} / \sum_{k=1}^{NM} F_{kq}$

Step 3. 특징 판별 : ① 기각영역 98.7% 또는 99.8% 설정

② 정규 손상위치 지수가 기각영역에 속하지는 여부

그림 55 FBDD 알고리즘

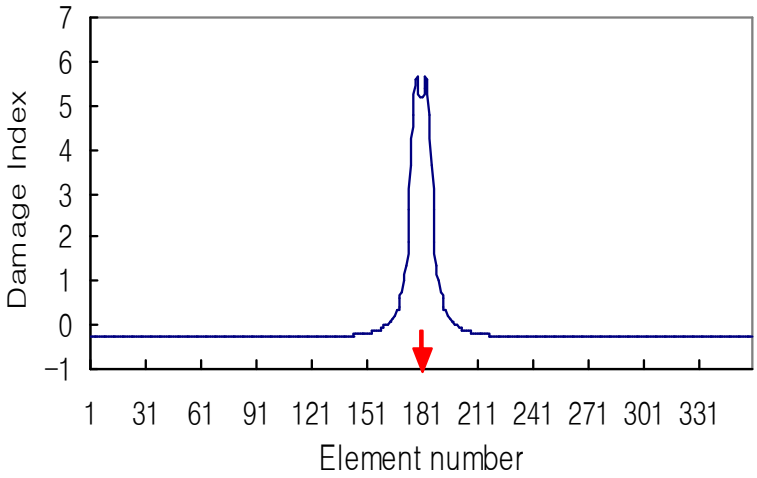


그림 56 고유진동수 기반 손상검색

하. 모드형상 기반 손상검색(MBDD)

그림 57은 Kim 등(2003)이 제시한 모드형상기반 손상검색 알고리즘이다. 손상 전후에 계측된 모드형상을 입력하여 모드민감도를 계산하고, 모드민감도의 변화를 식별하여 손상 위치를 식별한다. 이 MBDD 기법의 실제 적용 사례는 참고문헌(Kim 등 2003)에 수록되었다. 그 외의 모니터링 항목인 변형률 모드형상 기반 손상검색(변형률 MBDD)과 변위 모드형상 기반 손상검색(변위 MBDD)는 그림 47의 알고리즘과 동일하다.

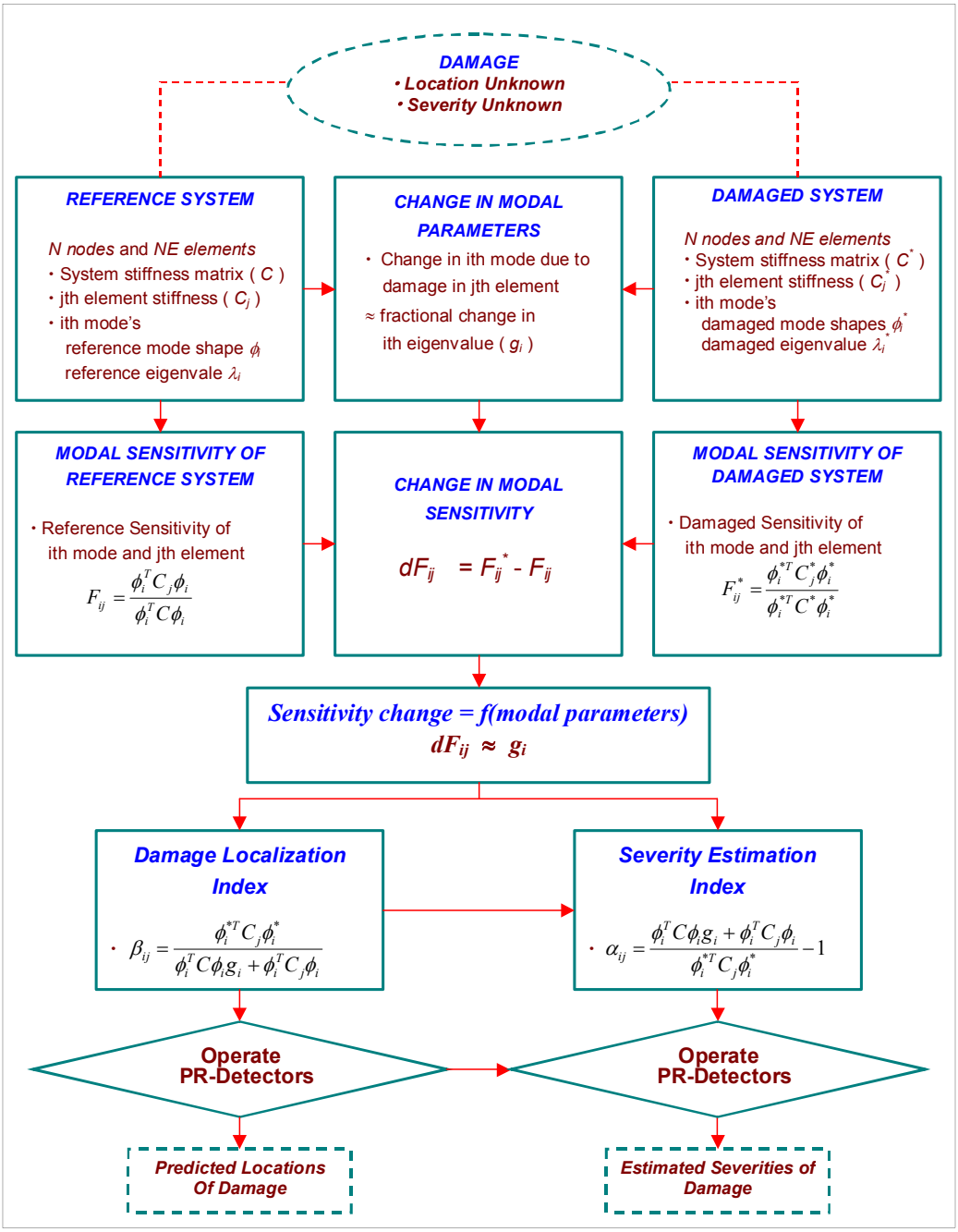


그림 57 모드형상기반 손상검색(MBDD) 알고리즘

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 최종 연구성과 내용

1. 정량적 연구성과

성과목표	성과지표	목표치	달성치	달성도
논문	학술회의 발표 논문 건수	2건	2건	100%
지적재산권	소프트웨어 등록 건수	1건	1건	100%
품질인증	공인인증기관 품질인증	1건	1건	100%
기술성능 목표달성	공인인증기관 시험성적서	2건	3건	150%
사업화	시제품 출시 건수	1건	1건	100%
지적재산권	특허출원건수	1건	1건	100%
테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 실적 건수	1건	1건	100%

2. 최종 연구성과 내용

가. 학술회의 발표 논문 (2건)

- 한국구조물진단유지관리공학회 (2013. 4. 11 ~ 13, 해운대그랜드호텔)



P-016 하중저항계수평가 방법에 의한 개선된 교량 모델의 내하성능 평가
김세훈·박영수·이종재

P-017 펄스 레이저 스캐닝 기반 초음파 영상화 기술을 활용한 배관 구조물 손상 진단
김현욱·이지성·이창길·박승희

P-018 변위 이력관리에 관한 해석적 연구
양재민·이지훈·최세운·박효선

유지관리

P-019 고속도로 교량의 상태등급 변화특성
김동현·이일근·박창호

P-020 케이블교량의 온도신축거동 평가 방안
김현중·박종철·조준상·김홍배

P-021 반강성 복합포장 방법을 이용한 교면포장시공
노재호·허형석·이병재·김윤용

P-022 케이블교량의 착설과 착빙 대책에 관한 고찰
박종철·이일근·김현중

P-023 국내 쉴드 터널의 유지관리 현황
성주현·홍선미·신병길

P-024 강사장교의 공기역학적 감쇠비 추정
이덕근·김인호·배도준·마상수·이상철

P-025 영상기반 구조물 관리 프로그램 개발
이병준·이진호·이재석·서지원

P-026 IoT기반 안전관리시스템을 통한 플랜트 파이프랙 구조건전성 모니터링
이용환·박수열·강희철·송병훈·여금수

P-027 강재부식 방지를 위한 전기방식 시설물의 유지관리
김홍삼·김진철·유혁진

P-028 고속도로 교량의 부재별 상태등급 변화 특성 분석
이일근·박창호·박종철·강형택·이수현

P-029 고속도로 교량의 손상유형 분석
전준창·이일근·박창호·조규상·이희현

P-030 표면차수벽 석괴댐의 차수벽 배면공극조사 개선방안
신창건·김영환·채민이·김경진·이홍열

IoT기반 안전관리시스템을 통한 플랜트 파이프랙 구조건전성 모니터링

Structural Health Monitoring of Plant Pipe Rack using Safety Management System based on IoT(Internet of Things)

이 용 환* 박 수 열** 강 희 철*** 송 병 훈**** 여 금 수*****
Lee, Yong Hwan Park, Soo Yeol Kang, Hee Cheul Song, Byung Hun Yeo, Keum Soo

Abstract

The importance of plant pipe rack safety management has been increased. In this study, a plant safety management system based on IoT(Internet of Things) was constructed in Yeosu Industrial Complex. The purpose of this study is to investigate the structural characteristics performance and structural health monitoring of pipe rack using measured data

1. 서 론

국내 플랜트 산업은 시공분야에 집중되어 있어 플랜트 시설물 유지관리 및 안전관리 분야에의 기술개발 및 연구는 거의 전무한 실정이다. 플랜트 산업단지 노출배관, 파이프랙 등과 같은 시설물은 노후화로 인한 지속적인 손상이 발생하고 있으나 육안검사 등에 의한 일상점검 수준의 유지관리만 이루어지고 있다. 특히 파이프랙은 플랜트 산업단지 내 배관의 지지하고 있는 핵심구조물로 파이프랙의 지속적인 손상으로 인한 붕괴 발생 시 가스,화학배관 등의 폭발을

* (주)한국플랜트관리 과장, 정회원
** (주)한국플랜트관리 대표이사, 개회원
*** (주)한국플랜트관리 이사
**** 전자부품연구원 책임연구원
***** (주)한국플랜트관리 주임

- 2013년 10월 10일 ~ 12일에 강원도 쏠비치 호텔&리조트에서 한국구조물진단유지관리공학회 추계학술대회 개최하여 참가함



P-009 자기펄스 신호를 이용한 PC텐던의 긴장력 추정
박성종·이정우·김병화·조창빈

P-010 초음파 시험법을 이용한 콘크리트의 강도 추정 범위에 관한 연구
박정우·강동수

P-011 콘크리트 구조물 비파괴시험의 표준화 방안에 대한 연구
강 철·최수훈·오광진·신주엽

P-012 콘크리트 궤도의 변상특징-침목과 도상 중심으로
이유석·정재훈·성주현·박광순·오영석

P-013 블록-아웃을 이용한 연속화 거더의 긴장 손실 감소
김윤용·박용권·방진욱·신경준·이완주

유지관리

P-014 100m 케이블을 활용한 케이블 점검 및 계측 기술의 검증 실험
김현중·박종철·이일근·강상규

P-015 3D 스캐닝 방법을 이용한 제체의 진행성 변위 연구
신창건·김 훈·채민아·김경진

P-016 IoT기반 플랜트 배관진단 시스템 개발
이용환·오정석·박수열·여금수

P-017 건축/대형구조물의 안전관리를 위한 최신 기술 개발 현황
박기태·신현섭·김병철·김태현·황지현

P-018 고성능 Weigh-in-Motion 시스템의 성능검증 시험
남진원·김종우·김호정·김 욱

P-019 고속도로 교량 RC 바닥판의 손상특성 분석
전준창·이일근·박정호·배종호·이희현

P-020 고속도로 교량 콘크리트 부재의 염화물함유량과 중성화 분석
이수현·이일근·박정호

P-021 고속도로 교량의 부재별 유지관리비용 분석
장동휘·박정호·이일근

P-022 공용중인 장대교량의 상시 계측을 통한 구조 감쇠비 산정
이덕근·김인호·유동우·홍성수·박상수

P-023 국내 대규모 임반짝기비탈면의 안전등급 변화에 미치는 요인 분석
박기태·이종권·장범수

16

< 학술 회의 목차 >



IoT기반 플랜트 배관진단 시스템 개발

Development of Plant Pipeline Diagnosis System Based on IoT(Internet of Things)

이용환* 오정석** 박수열*** 여금수****
Lee, Yong Hwan Oh, Jung Seok Park, Soo Yeol Yeo, Keum Soo

Abstract

In this study, plant pipeline diagnosis system based on IoT(Internet of Things)was developed. The system consists of three parts : sensor system, omnidirectional system and pipeline safety assessment solutions. The plant pipeline diagnosis system was constructed in plant pipeline and was validated field applicability. Plant pipeline diagnosis system based on IoT is appropriate for plant pipeline safety monitoring.

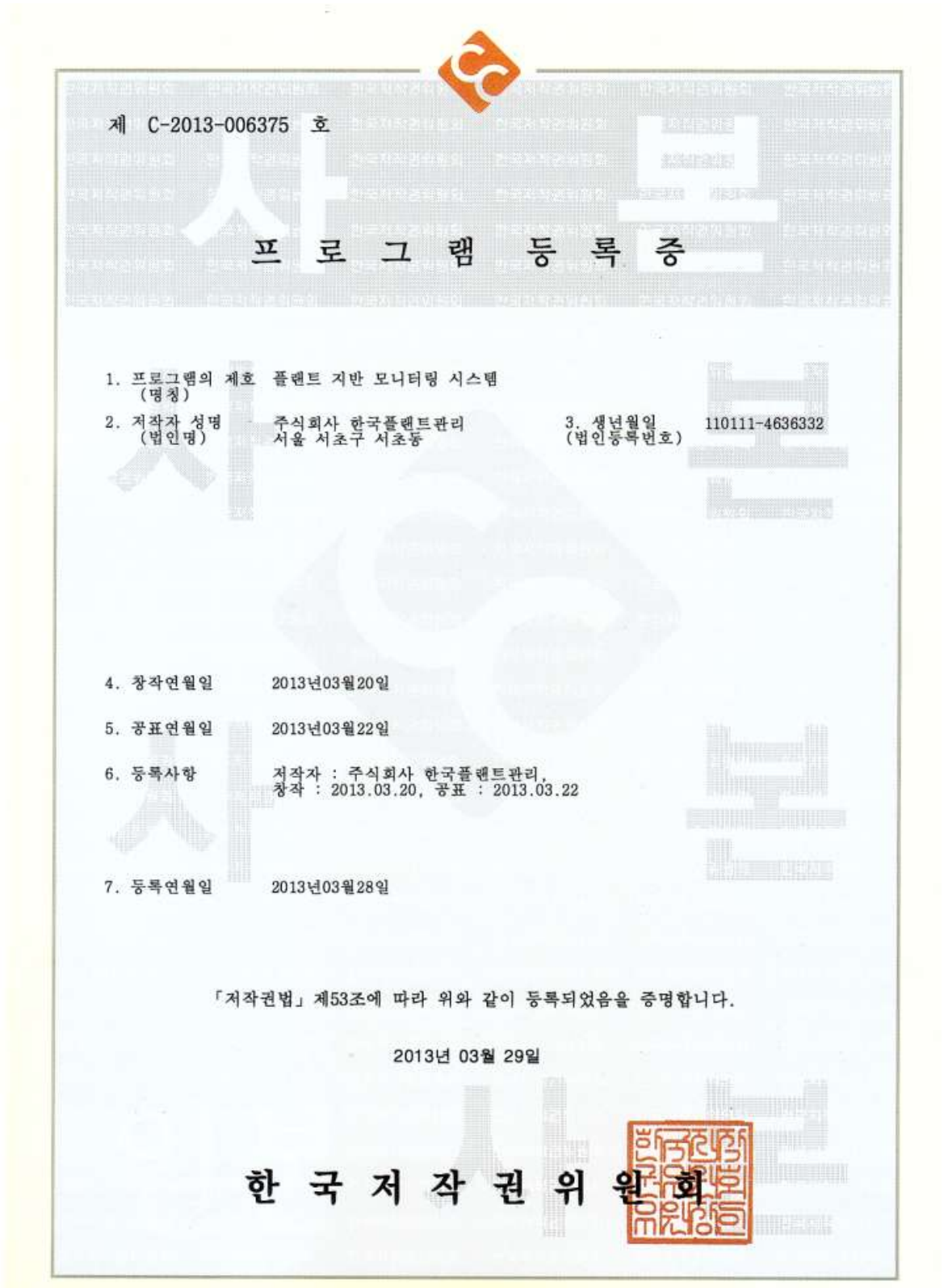
1. 서 론

- 158 -

<학술회의 발표 논문>

나. 소프트웨어 등록 (1건)

- 플랜트 지반 모니터링 시스템(한국저작권위원회, 제 C-2013-006375호)



제 C-2013-006375 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭) 플랜트 지반 모니터링 시스템
2. 저작자 성명 (법인명) 주식회사 한국플랜트관리 서울 서초구 서초동 3. 생년월일 (법인등록번호) 110111-4636332
4. 창작연월일 2013년03월20일
5. 공표연월일 2013년03월22일
6. 등록사항 저작자 : 주식회사 한국플랜트관리, 창작 : 2013.03.20, 공표 : 2013.03.22
7. 등록연월일 2013년03월28일

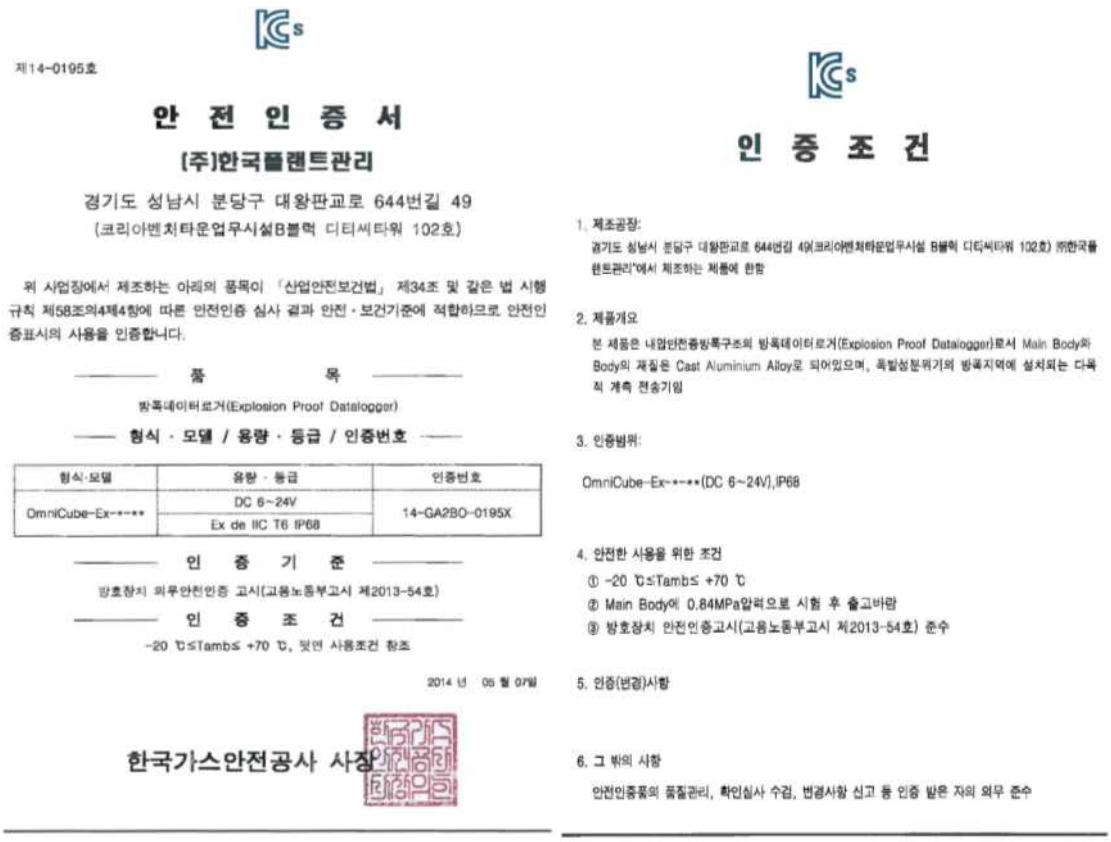
「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2013년 03월 29일

한 국 저 작 권 위 원 회

다. 품질 인증(1건)

- 방폭형 무선 데이터로거(OmniCube-Ex) 방폭인증 획득



제14-0195호

안 전 인 증 서

(주)한국플랜트관리

경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49
(코리아벤처타운무시설B블럭 디티씨타워 102호)

위 사업장에서 제조하는 아래의 품목이 「산업안전보건법」 제34조 및 같은 법 시행규칙 제58조의4제4항에 따른 안전인증 심사 결과 안전·보건기준에 적합하므로 안전인증표시의 사용을 인증합니다.

품 목

방폭데이터로거(Explosion Proof Datalogger)

형식 · 모델 / 용량 · 등급 / 인증번호

형식·모델	용량 · 등급	인증번호
OmniCube-Ex-*-**	DC 6~24V Ex de IIC T6 IP68	14-GA2BO-0195X

인 증 기 준

방호장치 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2013-54호)

인 증 조 건

-20 ℃≤Tamb≤ +70 ℃, 첨언 사용조건 참조

2014 년 05 월 07일

한국가스안전공사 사장

인 증 조 건

1. 제조공장:
경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49(코리아벤처타운무시설 B블럭 디티씨타워 102호) ㈜한국플랜트관리"에서 제조하는 제품에 한함

2. 제품개요
본 제품은 내압안전증방폭구조의 방폭데이터로거(Explosion Proof Datalogger)로서 Main Body와 Body의 재질은 Cast Aluminium Alloy로 되어있으며, 폭발성분위기의 방폭지역에 설치되는 다목적 계측 전송기임

3. 인증범위:
OmniCube-Ex-*-**(DC 6~24V),IP68

4. 안전한 사용을 위한 조건
① -20 ℃≤Tamb≤ +70 ℃
② Main Body에 0.84MPa압력으로 시험 후 출고바람
③ 방호장치 안전인증고시(고용노동부고시 제2013-54호) 준수

5. 인증(변경)사항

6. 그 밖의 사항
안전인증품의 품질관리, 확인심사 수검, 변경사항 신고 등 인증 받은 자의 의무 준수

<방폭형 무선 데이터로거(OmniCube-Ex) 방폭인증>

라. 시험 성적(3건)

- 무선노드(Ommi Cube)의 온도 동작 시험성적서(-30 ~ 80℃까지 시험)

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 13-007905-01-1

총 6 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : (주)한국플랜트관리

주 소 : 서울특별시 서초구 서초대로 254, 1012 (서초동 1553-5 오퓨런스10층)

2.시험품

품 명 : Omni Cube

모델/형식 : OmniCube-D01

제 조 자 : (주)한국플랜트관리

3. 시험규격/방법 : 신청자가 제시한 시험방법

4. 시험 결과 : 시험결과요약(2페이지) 참조

5. 성적서 용도 : 제출용

6. 접수 일자 : 2013년 02월 25일

7. 발급 일자 : 2013년 02월 26일

시 험 자 내환경평가센터 최용훈

승 인 자 내환경평가센터 정민호

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

경기도 안산시 상록구 해안로 723(우 426-901)
http://www.ktl.re.kr
Tel. : 031-500-0435
Fax. : 031-500-0459

FP204-01-02

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

- 한국산업기술시험원(KTL)에서 방폭형 데이터 로거(Omnicube-Ex)의 시험 성적서 적합 판정 획득.

시 험 성 적 서

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory
(우 157-718) 서울특별시 구로구 구로3동 222-13
(Tel: 02 860 1531, Fax: 02 860 1549)

성적서번호 : 13-048136-01
페이지 (1)/(총 2)

KOLAS TESTING NO. 0

1. 의 뢰 자
◦ 기 관 명 : (주)한국플랜트관리
◦ 주 소 : 경기도 성남시 분당구 삼평동 DTC타워 102호
◦ 의뢰일자 : 2013. 11. 06

2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용

3. 시험대상품목
◦ 제 품 명 : 방폭 데이터로거
◦ 모 델 명 : OmniCube-Ex
◦ 제조자명 : (주)한국플랜트관리
◦ 제조번호 : -

4. 시험기간 : 2013. 11. 15 ~ 2013. 11. 18

5. 시험방법 : IEC 60529:2001, KS C IEC 60529:2006

6. 시험환경 : 21.3 ℃, 54 %RH, 86~106 KPa

7. 시험결과 : IP68 (뒷면 참조)

비 고 : 1. 위 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과이며,
2. 우리 원의 서면 동의 없이 전제 및 복사를 할 수 없습니다.

확 인	시험자 성 명 : 김 창 호 (서명)	기술책임자 성 명 : 강 준 구 (서명)

위 성적서는 국제시험소인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2013. 11. 19

한국산업기술시험원장 (인)

FP202-01-02

- 전자부품연구원(KETI)를 통한 상용품 대비 개발품 성능검증 실험

KETI 전자부품연구원 Korea Electronics Technology Institute

시 험 성 적 서

발 행 번 호 : 2014-0435 F

회 사 명 : 비티컨설턴트(주)

시 료 명 : 데이터 계측장비

상기 사항은 본 연구원에서 실시한 시험성적서임을 증명함.

2014 년 07 월 23 일

전 자 부 품 연 구 원 장

본 시험성적서는 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과로써 시료명은 의뢰자가 제시한 것입니다.
본 시험분석은 단지 제품의 품질 및 신뢰성 향상을 위한 시험분석입니다. 이 성적서는 용도이외의 사용을 금하며, 의뢰자가 임의로 사용하여 발생되는 분제에 대해서 당 연구원은 책임지지 않습니다.

경기도 성남시 분당구 새나리로 25, Tel : 031)789-7298, Fax : 031) 789-7299 http://www.keti.re.kr/reliability

양식번호(B-17-01) 개정번호(19) 개정일(2011.10.12)

마. 시제품 제작

- OMNI CUBE EX - DATALOGGER 제작



항목	Dynamic	Static
Measuring Channel	1-Channel	4-Channel
Measuring Range	±5V	
Current Consumption	150 ~ 190 mA	
Power Supply	9 ~ 12V	
ADC Resolution	고속 ADC 24bit(50Khz)	
Sampling Rate	100, 200, 128, 256, 512, 1024Hz	
Low Pass Filter	100, 500, 1000, 2000Hz	
Communication	ISA100, LTE	
Interface	TCP/IP, UDP	
SD Card	Micro SD(FAT32지원)	
RTC	정밀 RTC 내장(3 ~ 8ppm)	
Size	132mm(W) x 151mm(D) x 41mm(H)	
Operation Temperature	-20 ~ 65℃	
케이스 방폭 기준	EX d IIB T6 IP68	



<방폭 데이터로거 취급 설명서>



<방폭 데이터로거 사양서>

바. 특허 출원

- 발명의 명칭 : 플랜트 구조물의 박스컬버트 상태 모니터링 시스템
- 출원 번호 : 10-2014-0096595

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2014.07.29
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2014-0096595 (접수번호 1-1-2014-0718524-84)
출원인 명칭	(주)한국플랜트관리(1-2012-058059-0)
발 명 자 성 명	박수열 강성민 김무승 원병연 여금수
발 명 의 명 칭	플랜트 구조물의 박스컬버트 상태 모니터링 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

사. 테스트베드 구축

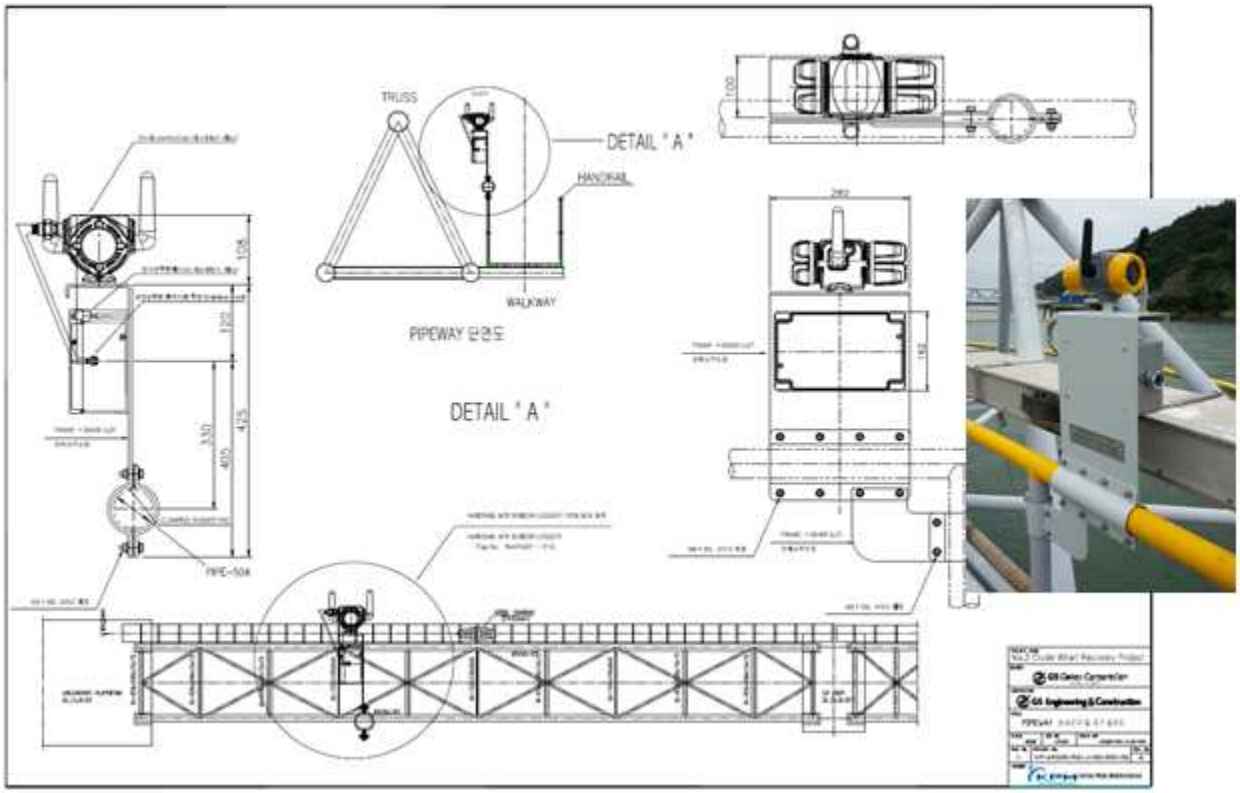
- 여수국가 산업단지 내 10-2구간 오버브릿지에 상부 구조물 위험도 평가를 위한 계측시스템 및 플랜트 환경에서 운영 가능한 방폭형 무선 데이터 로거 계측시스템 구축



< 여수국가산업단지 테스트베드 구축 >

제2절 연구성과 적용실적

○ GS칼텍스 석유부두 부두 충돌 모니터링 시스템 구축

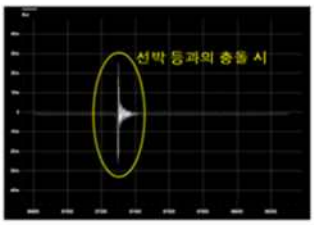


<부두 충돌 모니터링 시스템 구축 도면>

- 석유부두 충돌 모니터링 시스템 개요
  - ■ 원유 또는 LNG를 지상 저장탱크에 로딩하기 위한 파이프라인이 가설된 구조물인 잔교에 선박 충돌로 인한 파손 및 원유 유출을 감지하기 위한 충돌 모니터링 시스템
  - ■ 충돌 감지 센서 기반의 선박 충돌 감지 및 원격지 전송
  - ■ 파랑에 의한 충격과 선박 충돌 구별/통보하는 알고리즘 내장
  - ■ LTE 통신망을 이용하여 데이터 전송
  - ■ 폭발 위험에 대비 방폭 데이터 로거(OmniCube-EX) 설치

- 주요 적용 제품 : OmniCube-EX







안 전 인 증 서

[주]한국플랜트관리

경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49
(크리에이티브타운업무시설B블럭 디티씨타워 102호)

위 사업장에서 제조하는 아래의 품목이 「산업안전보건법」 제34조 및 같은 법 시행규칙 제58조의4제4항에 따른 안전인증 심사 결과 안전·보건기준에 적합하므로 안전인증표시의 사용을 인증합니다.

품 목

방폭데이터로거(Explosion Proof Datalogger)

형식 · 모델 / 용량 · 등급 / 인증번호

형식·모델	용량 · 등급	인증번호
OmniCube-Ex-****	DC 6~24V Ex de IIC T6 IP68	14-GA2SO-0195X

인 증 기 준

방호장치 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2013-54호)

인 증 조 건

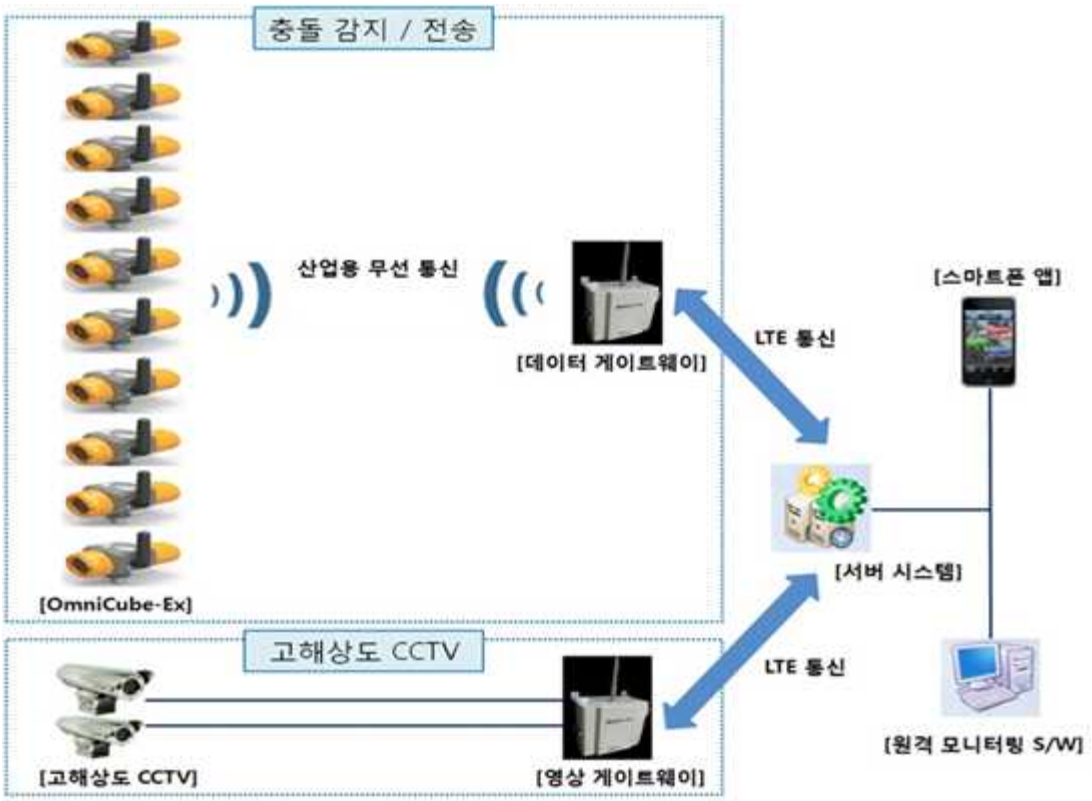
-20 ℃≤Tamb≤ +70 ℃, 일반 사용조건 참조

2014 년 05 월 07일

한국가스안전공사 사장

- 내압방폭 : 방폭지역에 설치 가능(국내최초무선방폭)
- 산업용 표준 무선통신 기술 ISA100.11a 적용
  - 유선의 경우 선박 충돌시 통신선(광케이블) 절단
  - 무선의 경우, 안정적으로 신호 전달
- 배터리 내장
  - 선박충돌 시, 잔교에 설치된 전원공급선 단선됨.
  - 내장 배터리 사용으로 전원공급없이 24시간 동작

- 석유부두 충돌 모니터링 시스템 구성도



- 석유부두 충돌 모니터링 시스템 현장설치



대 분 류	부 품	수량	기 능
하드웨어	OmniCube-Ex	10	방폭형 충격 감지 센서
	데이터 게이트웨이	1	충격 데이터 수집 및 전송
	고해상도 CCTV	2	고해상도(Full HD) 적외선 카메라
	영상 게이트웨이	1	영상 수집 및 전송
	서버시스템 및 경보시스템	1	충격 데이터 분석 및 표시, 경보 발생
소프트웨어	원격모니터링 S/W	1	부두 중돌 원격 모니터링, PC 설치
	스마트폰 앱	1	부두 중돌 원격 모니터링, 스마트폰 설치

- 기대효과

■ 본 과제를 통해 개발된 방폭형 데이터 로거를 통해 다양한 고 위험 시설물에 적용이 가능하며 센서 인터페이스의 확장을 통해 다양한 물리량 측정으로 사업 범위를 확대 적용 가능

제3절 연구성과 시장 전망

1. 국내외 시장규모

◦ 국내 RFID/USN 시장은 한국 RFID/USN 협회의 산업실태조사 결과를 기반으로 세계 시장성장률을 반영하여 추정할 때 2008년 약 9천4백억 원 시장에서 2018년에는 25조4천7백억 정도에 이를 것으로 전망

◦ RFID/USN 기기 시장의 경우에는 2008년 약 6천8백억 원 시장에서 2018년에는 6조4백억 원 정도의 규모를 형성할 것으로 예측

◦ RFID/USN 서비스(소프트웨어 포함) 시장의 경우에는 2008년 약 2천6백억 원 규모에서 2018년에는 19조4천3백억 원 정도에 이를 것으로 예측

◦ 국내 RFID/USN의 세계 시장점유율은 2008년 9.2% 수준에서 2018년에는 20%를 차지할 것으로 예상되며, RFID/USN의 GDP 비중 또한 2008년 0.09% 수준에서 2018년에는 0.92% 정도에 이를것으로 전망

◦ 국내 시장의 경우 전자식 계측기 시장은 2006년 이후 매년 30% 이상의 매출 증가를 보일 것으로 예상된다. 반면 USN기술은 매년 2배 이상의 폭발적인 성장이 예상됨

플랜트 산업분야 시장전망

- 플랜트 산업은 고유가가 지속됨에 따른 에너지설비 확충, 개도국의 산업설비 확충 등으로 인한 플랜트시장은 지속적으로 확대될 전망
- 2010년 해외플랜트 수주액은 약 645억 달러로 전년 대비 39.3%, 2005년 대비 300%이상 증가
- 국내 기업에 대한 발주처 및 외국기업의 견제와 가격경쟁력을 앞세운 외국기업의 수주 공세로 지식경제부는 플랜트산업협회 등 관련 기관과 협력하여 플랜트기업의 해외전출 및 플랜트 산업분야 확대 지원
- 플랜트 산업시장 확대 흐름에 맞추어 플랜트 안전관리에 필수적인 플랜트 시설물 유지관리 시장도 확대될 전망



건설IT융합분야 시장전망

▪본 기술개발은 플랜트 산업분야에 건설IT융합 기술을 적용하는 것으로 본 과제 성과물은 시설물 유지관리 측면에서 스마트 건설 기술 및 국책성 차원에서 지원하는 u-city 시장으로 확대/적용할 수 있음

▪건설 IT융합 시장 변화추이는 순수 융합전 순수 건설 시장은 평균 12.43%의 성장이 예측되나 IT융합을 고려할 경우 14.9%의 성장이 예측됨

▪ 건설 IT융합을 통해 창출되는 부가가치는 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

▪ 건설IT융합 시장을 위한 정책적 지원 필요성이 강하게 대두되고 있음

- 건설IT융합지원센터 (2010)

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	평균 성장률
건설자재 시장	융합 전	13.1	14.2	16.2	16.8	17.5	18.2	16
	융합 후	15.6	17.2	19.4	21.3	22.6	23.9	20
건설시장	융합 전	9.2	10.5	12.1	13.1	14.2	15.5	12.43
	설비시장 융합 후	10.2	12	13.6	15	16.4	17.7	14.17
	시공시장 융합 후	11	12.5	14.2	15.9	17.5	18.3	14.9
건설 에너지 제어 및 관리 시장	융합 전	4.9	6.4	7.8	9.2	9.8	10.7	8.13
	융합 후	7.1	8.7	10.2	11.6	12.3	13.7	10.6
U-City 시장		19.6	22.1	23.8	24	24.5	25.1	23.18

출처 : 건설IT융합지원센터

▪ 주요 선진국은 국가 R&D 과제를 통하여 다양한 분야에 IT융합 핵심 기술을 개발
▪ 본 기술개발의 핵심인 U-GISN 솔루션 상용품은 시설물 유지관리 측면에서 스마트 건설 기술 및 국책성 차원에서 지원하는 u-city 시장으로 확대/적용할 수 있음
▪ 스마트 건설 및 U-City 시장의 경우 시장성이 높아 단기적 정책적 지원을 통해 가시적인 성과를 거둘 수 있으며, 민간보다 정부 지원이 필요한 기술 분야라는 점에서 정부 지원의 필요성이 강하게 제기됨
- 건설IT융합지원센터 (2010)

건설 IT 융합 시장 규모



스마트 건설/U-City 시장 규모 및 성장률

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
스마트 건설/U-City 시장	1,137	1,537	2,021	2,525	3,194	4,073

단위 : 억원



출처 : 건설IT융합지원센터

2. 기술 수요 및 현장적용 가능성

◦ 국가 주요 SOC 시설물의 실시간 지중정보 제공 시스템을 확립하여 지역 특성 및 현장 상황 차이에 따른 최적의 안전관리 방안을 제공하며, 주요 지하시설물 테스트베드를 구축하여 잠재적 위험요소와 불안전성을 종합적으로 예측함과 동시에 경제성 분석 수행으로 센서응용기술 및 네트워크기술 활용성 극대화 도모

◦ 선진 u-GISN 관리체계 구축을 통해 삶의 질, 시민 안전의식 향상과 투명하고 신뢰성 있는 정책 실현, 효율적인 행정업무 및 국가예산 절감 효과를 기대

◦ 기술수요처

수요처	국명	수요량	관련제품
GS칼텍스	대한민국	1,000 set	- 산업 설비 자동제어 및 관리 시스템 - 침하, 배관부식 및 균열 진단 시스템
SK에너지	대한민국	1,000 set	
Arkema Inc.	미국	5,000 set	
Shell	다국적	100,000 set	

◦ 현장적용 가능성

- 국가 주요 SOC 시설물의 실시간 지중정보 제공 시스템을 확립하여 지역 특성 및 현장

상황 차이에 따른 최적의 안전관리 방안을 제공하며, 주요 지하시설물 테스트베드를 구축하여 잠재적 위험요소와 불안전성을 종합적으로 예측함과 동시에 경제성 분석 수행으로 센서응용기술 및 네트워크기술 활용성 극대화 도모

- 지반정보 수집센서 네트워크 운영기술은 지반 정보 모니터링이 필수인 공항, 지하철로, 연약지반 도로 등의 국가 기반 시설에 현장 적용을 통하여 그에 적합한 실용화 시스템 대한 개발을 수행

3. 경쟁기술 대비 가격경쟁력

◦ USN 하드웨어 플랫폼 기술은 지금까지는 MCU와 Radio가 각각 독립된 칩으로 분리된 형태로 개발되다가 최근에는 이들 구성원들이 System-on-Chip(SoC) 되는 경향으로 발전하고 있음

<USN 플랫폼의 발전 방향>

구 분	형 태	내 용
1세대	2칩 구조	- MCU와 Zigbee 와 같은 통신이 구분된 형태 - USN 플랫폼의 크기가 4~8cm^2 이룸 - 제품화 가격이 $6~10 수준
2세대	SoC 구조	- 단순한 MCU와 무선통신 부품이 융합된 Mixed IP구조화 - USN 플랫폼의 크기가 2~5cm2 이룸 - 제품화 가격이 $4~5 수준
3세대	최적화 SoC 구조	- 복합 기능 MCU와 무선통신이 융합된 구조 - USN 플랫폼의 크기가 1~3cm2 이룸 - 제품화 가격이 $2~4 수준
	고성능 MLP 구조	- 32bit 수준의 Multi-layered Processor (MLP)기반 고성능 플랫폼 - 고품질 ADC 및 주변장치를 통한 고품질 서비스 실현

◦ USN 플랫폼의 하드웨어적인 기술의 발전 추세는 현재 1세대 도입기를 지나 2세대 적용기에 이르고 있음. 3세대 고도화가 이루어 질 경우, 본격적인 u-서비스들이 출현하여 지능형 서비스를 완성할 수 있을 것으로 예측됨.

◦ 본 과제를 통해 개발된 시제품의 판매 단가

구분	제품이름	특징	판매사	판매단가
시제품	OmniCube	비방폭형 데이터로거	㈜한국플랜트관리	2,000,000
시제품	OmniCube-EX	방폭형 데이터로거	㈜한국플랜트관리	3,000,000
시제품	OmniHub	ISA100.11a 게이트웨이	㈜한국플랜트관리	5,000,000



[비방폭 데이터로거 OmniCube]



[방폭형 데이터로거 OmniCube-EX]



[스마트 게이트웨이 OmniHub]

시제품	구분	단가(원)
OmniCube	재료비	600,000
	노무비	400,000
	제조간접비	400,000
	기업이윤	600,000
	합계	200,000
OmniCube-EX	재료비	900,000
	노무비	600,000
	제조간접비	600,000
	기업이윤	900,000
	합계	3,000,000
OmniHub	재료비	1,500,000
	노무비	1,000,000
	제조간접비	1,000,000
	기업이윤	1,500,000
	합계	5,000,000

- 판매 단가는 재료비, 노무비, 제조원가, 기업이윤을 고려하여 책정하였으며 해외 경쟁사인 제품인 Emerson의 경우 방폭형 데이터 로거를 4,500,000원에 판매하고 있어 가격 경쟁력에 우위를 선점할 수 있음

4. 수입기술 대체가능성

◦ 기술선점에 의한 수출 증대

- 국내 USN 기반 기술은 산자부, 정통부의 국가적 지원을 받아가며 진보를 거듭해 오고 있음. 본 사업을 통해 국내 기술이 관련 세계 시장에서 보다 뛰어난 성과로 나타날 수 있으며 이를 통한 관련 센서 시장에서 수입 대체 및 높은 수출증대가 발생할 것으로 예측

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

제1절 최종목표 달성도

1. 연구개발 진도율

· 당초계획

———————————— 실 적

구분 / 개발내용		연구개발기간 1차년도 1	2	3	4	5	6	7	8	2차년도 9	10	11	12	13	14	15	16	17	3차년도 18	19	20	21	22	23	진도(%)
1-1	지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가																								
1-2	플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석																								100
1-3	플랜트 시설물 지반 평가시스템 개발																								
2-1	플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발/제작																								
2-2	u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발																								100
2-3	플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보																								
3-1	플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발/제작																								
3-2	u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발																								100
총 진도율		100								100									100						

2. 연구개발 달성도

연구목표	달성도(%)	주요 연구내용
▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 평가	100	▪ 기존 사회기반 시설물 계측기술 분석 ▪ 지상고정형 모니터링 기술 현장 적용성 분석
▪ 플랜트 지반 테스트베드 구축 및 장기 거동 특성 분석	100	▪ 플랜트 지반 현장 테스트베드 구축 ▪ 기존 계측시스템과의 성능 및 계측결과 비교를 통한 신뢰성 분석
▪ 플랜트 시설물 평가 기술연구 개발	100	▪ 플랜트 시설물 상태 평가 시스템 구축 ▪ 향후 플랜트 시설물에 적용 가능한 상태 평가 기술 제시
▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 무선 통신 규격을 활용한 데이터로거 개발 / 제작	100	▪ ISA100 통신 프로토콜 적용 시제품 개발 ▪ 플랜트 환경에 적용 가능한 방폭 재질의 시제품 설계
▪ u-GISN 기술을 활용한 시제품 개발	100	▪ 개발된 무선 통신 데이터로거 성능 보완 ▪ 플랜트 환경에 적합한 방폭 재질의 시제품 제작 및 성능 검증
▪ 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션 확보	100	▪ 플랜트 시설물 중 상부 구조물의 위험도 평가 시스템 구축 ▪ 요소기술 패키징을 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합을 통해 플랜트 환경에서 운영 가능한 시스템 솔루션을 확보
▪ 플랜트 시설물 지반에 Geo 센서 적용기술 개발 및 인터페이스 검증	100	▪ 지반 정보 수집에 적합한 Geo센서 적용기술 개발 ▪ 다양한 응용 사례를 위한 인터페이스 검증
▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 및 게이트웨이 개발	100	▪ 플랜트 환경에 따른 장거리 통신 활용기술 개발 ▪ 지반 u-GISN 설치 환경에 적합한 게이트웨이 개발

제2절 연구개발 효과분석

1. 활용방안

◦ 연약지반 분야 USN기술 적용 수준은 지상 무선 통신에 의한 데이터 취득 자동화가 상용화된 정도이며, 지중무선통신 기술은 시험적용단계에 있다고 볼 수 있음. 부산 신항 공사 현장의 경우 일부 정보를 자동 취득하여 이를 상용화된 CDMA통신망으로 무선 수신한 후 사무실에서 데이터를 분석 및 관리하는 인터넷 기반 통합 관리 시스템을 시험 운영 중임. 연약지반 분야에 있어서 USN의 궁극적 발전 방향은 지상/지중 무선데이터 취득 및 완전 자동 처리이며, 이를 통하여 기존의 시공 중 계측 관리 이외에도 공용 상태에서의 상시 모니터링 수요가 창출될 것임. 지중 무선 통신 기술을 유지관리 계측에 적용할 경우 다음과 같은 장점이 있음.

- 케이블이 없는 독립된 컴포넌트로 구성되어, 시공부터 공용 후 유지관리까지 연속적인 계측이 가능하고 계측기 설치 시간도 단축됨.
- 지반 및 지하구조물의 관리에서 센서 케이블을 지상 연결할 필요가 없기 때문에 지상 구조물 공사 및 공용 후 시설물 사용에 영향을 주지 않음.
- 센서 테이블 매설로 인한 구조물의 파손 및 기능 손상의 위험요소가 줄어들고 케이블에 의해 발생되는 계측기기의 고장 및 계측 등의 문제점을 회피할 수 있음.
- 지하 설치된 관측기기에 축적된 데이터의 회수가 매우 용이해 짐.

◦ 터널 구조물은 설계와 시공에 많은 불확실성을 포함하고 있기 때문에 시공 중 계측과 유지관리 계측이 필요함. 터널의 시공 중 계측항목으로는 지표 침하계, 천단 침하계, 내공변위계, 지중 변위계, 숏크리트 응력측정계, 록볼트 축력계 등이 있음. 또한, 터널의 유지관리 계측 항목으로는 토압계, 간극 수압계, 변형률계 등이 있음. 터널계측은 수동계측과 유선자동화 계측으로 구분할 수 있었으나, 사용자에 의한 측정오차와 케이블의 장대화에 의한 노이즈의 발생에 따른 데이터의 불안정성과 케이블 파손 등으로 인하여 계측의 유지관리에 어려움이 많음. 이에 반하여, USN 시스템은 센서와 연결된 멀티플랙서로부터 이동중인 사용자가 데이터를 무선으로 자동 수신하며 수신된 자료는 노트북 PC로 저장이 됨. 저장된 자료는 노트북 PC로부터 자동으로 데이터 계측 서버 PC로 전송되며, 전송된 자료는 일반 관련 사용자(USER)가 검색해 볼 수 있게 됨. 이러한 데이터 로깅 방식은 데이터 로거까지 장대 케이블이 필요 없기 때문에 케이블의 파손에 의해 발생되는 계측의 중단과 케이블의 장대화로 인한 노이즈 발생으로 데이터의 신뢰성에 대한 문제를 동시에 극복할 수 있음. 따라서 USN을 기반으로 하는 신개념 유비쿼터스 자동계측시스템은 토목 시공현장에서 가장 적합한 자동화 계측시스템이라 할 수 있음.

◦ 사면 안정 분야의 경우 지중 경사계, 간극 수압계, 지하수위계 등 일반적인 공통 계측

장비 이외에 지표 변위 측정 및 3차원 사진 계측 또는 3차원 레이져 스캐닝 계측 장비에도 포괄적으로 USN이 적용 가능함. 하지만 앞서 지적한 바와 같이 USN 기술을 사면 계측 분야에 적용 시 위치적 제약에 따른 전원 공급의 문제, 송수신 거리의 문제 및 장기거동 계측에 대한 USN 장비의 내구성에 대한 문제가 해결되어야 할 것임.

◦ 도심지 굴착 현장에서 USN을 구현하기 위해서는 먼저 각종 계측기를 무선화 자동화 시켜야 함. 하지만 토목현장의 경우 다양한 문제점이 발생하는 야외 현장이므로 다음의 요건을 만족시켜야 함.

- 열악한 기후나 설치조건을 견딜 수 있도록 내구성이 좋아야 함.
- 측정 온도 범위가 넓어야 함.
- 방충, 방습이 되어야 함.
- 측정 센서 수와 빈도를 감안한 적합한 데이터 획득 빈도를 가져야 함.
- 각종 통신수단을 이용할 수 있어야 함.
- 전원의 공급방법이 다양해야 함.
- 프로그램으로 자동 측정기를 제어할 수 있어야 함.
- 프로그램에 의해서 경계치를 설정하거나 측정시기를 선택할 수 있어야 함.
- 프로그램과의 연계가 용이해야 함.

◦ 지반환경 분야에서는 매립지 통합관리 분야와 Geothermal system의 관리 분야에서 USN의 활용이 현재 실현 가능한 상태임. 매립지 통합관리 시스템에서는 매립지 건설 전 매립지 바닥에 격자망 형태로 pH센서, 온도 센서, 토양수분 센서가 설치된 geo grid 시스템을 적용하여 침출수의 누출을 감지하고 이 데이터를 유선을 통해 지상의 데이터 로거로 전송시킨 후 USN기술에 접목시킴으로써 실시간 원격 관리가 구현될 수 있음. Geothermal system에서는 지열 전단 매질 이송관 내부에 온도 센서를 설치하여 에너지 공급 효율을 파악하고 이를 USN기술에 접목시켜 관리자가 원격으로 실시간 정보를 받아볼 수 있게 하여, 에너지 효율이 떨어지는 곳을 파악하고 이 시스템에 회복시간을 주면서 다른 시스템을 이용하는 방향으로 관리할 수 있음. 아파트 및 공업단지의 친환경 관리 시스템에서도 USN을 활용할 수 있는데, 넓은 부지에서 오염 예상 지역에 감지 센서를 설치한 후 USN기술을 접목시킨다면 넓은 지역의 아파트, 공장 부지를 효율적으로 관리할 수 있을 것으로 판단됨.

2. 기대성과 및 파급효과

가) 기술적 측면

◦ 국내에서는 건교부의 NGIS 국토지반정보화 사업을 선두로 서울시를 비롯한 지자체와 도로공사, 토지공사, 주택공사, 수자원공사 등의 공사에서 각각 생성된 지반정보 자료를 DB화하고 체계적인 유지·관리·활용을 위한 시스템 개발 등 다양한 연구가 진행중임. 그러나 아직 대부분의 연구가 시범 단계에 있거나 데이터베이스 구축 정도의 수준으로 다양한 활용이나 타 시스템과의 연계에는 많이 미흡한 실정.

◦ 특히 지반정보 데이터베이스 작업의 성과가 어느 정도 가시화된 현 시점에서 이를 활용할 수 있는 활용 처를 찾는 것은 매우 시급한 과제로 떠오르고 있음. 공공기관보다 많은 수요를 가지고 있는 민간부분에서 구축된 지중정보 데이터를 효과적으로 활용할 수 있도록 민간부분의 수요조사와 정부기관의 유기적인 협조, 정책적인 지원이 요구됨.

◦ 최근 들어 고층건물, 장대교량, 가스저장시설 등 대형구조물의 건설이 점점 증가하면서, 지반의 변형 거동을 신뢰성 있게 예측하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있음. 기존의 변형예측에서는 지반의 강성을 선형으로 고려하여 해석을 수행하였으나, 실제 지반의 거동과는 큰 차이를 보임.

◦ 현장지반의 비선형 탄성계수 결정을 위하여, 현장 탄성파 시험을 수행하여 미소변형률 영역의 최대전단탄성계수를 결정하고, 실내시험에서 결정된 변형률 크기에 따른 탄성계수 감소곡선을 결합하여 현장 지반의 전체 지반의 전체 변형률 영역의 비선형 탄성계수를 결정하는 기법이 가장 신뢰할 만한 방법으로 평가되고 있음.

◦ 여러 선진 국가에서는 이러한 현장지반의 실시간 지반 정보를 최근 부각되고 있는 WSN 기술과 융합하여 보다 자유로운 정보의 이동을 가능하게 하고 있음. 특히, 국내에서는 WSN 기술에 서비스의 개념을 융합한 새로운 USN기술을 정립하는데 큰 노하우를 가지고 있으며, 이를 통한 다양한 지능형 u-서비스를 개발하여 관련 세계 시장에 유리한 입장을 확보 할 수 있음.

◦ USN 기술은 저가의 플랫폼 가격과 저 전력의 동작 환경, 그리고 2-6년의 긴 생존 시간을 유지할 수 있는 장점이 있으므로 국토 모니터링에 반드시 필요한 기술임. 특히, 본 연구에서 목표로 하는 지반정보 수집네트워크 기술개발에는 USN의 활용이 매우 큰 장점이 될 것임.

◦ 관련 선행 연구를 종합하여 볼 때 지금까지 USN 기술은 지반정보 수집에 활용된 예가

있었음. 그러나 이러한 연구결과가 활성화 되지못한 이유는 이러한 USN플랫폼이 토목 환경에 맞지 않았기 때문임. 즉, 건설/토목 분야의 정확한 요구 사항을 분석하고 이를 적용한 플랫폼의 개발이 미흡했단 증거임. 본 연구에서 제안하는 u-GISN (Ground Info Sensor Network)은 이러한 건설/토목의 요구 사항에 맞게 디자인 되고 설계된 최초의 USN 플랫폼임. 이는 그동안 서로 다른 분야의 기술이 만나지 못해 적용성과 활용도에 문제가 있었던 여러 이슈들을 해결 할 수 있을 것으로 전망됨.

◦ 제안하는 u-GISN 기술을 활용하여 실시간 지중 정보를 관리하기 위해서는 응급성 데이터의 처리를 위한 빠른 반응과 망의 확장성에 주목해야 함. 기존의 CDMA와 같은 무선 네트워크들은 데이터의 응급성이 중요한 응용에는 적합하지 않는 문제점을 가지고 있었음. 따라서 본 연구에서는 Trunked Radio System(TRS)과 USN을 활용한 융합 네트워크 설계를 통해 실시간 지중정보의 분석 및 해석을 통한 다양한 안전서비스를 가능한 시스템을 제안하였음.

◦ USN 하드웨어 플랫폼 기술은 지금까지는 MCU와 Radio가 각각 독립된 칩으로 분리된 형태로 개발되다가 최근에는 이들 구성원들이 System-on-Chip(SoC) 되는 경향으로 발전하고 있음

◦ USN 플랫폼의 하드웨어적인 기술의 발전 추세는 현재 1세대 도입기를 지나 2세대 적용기에 이르고 있음. 향후 2-3년 안에 3세대 고도화가 이루어 질 것으로 예상되며, 본격적인 u-서비스들이 출현하여 지능형 서비스를 완성할 수 있을 것으로 예측됨

◦ 지능형 국토 정보화 신산업 창출 및 원천기술을 확보하여 신산업 창출
- 미래 지능형 국토 정보 관리에 적합한 u-GISN기술은 전 세계적 주요관심 사항
- 본 산업은 세계적인 선행 기술 중 하나로 평가 받을 수 있으며, 관련 기술로 도출된 성과들은 국내 및 국제 표준안으로 발전 가능성과 신산업의 여파가 클 것으로 판단됨
- 실제 국가적으로 적용하는 사례가 없는 기술이므로 현시점에서의 기술개발이 매우 중요하며 본 산업이 성공할 경우 기술적으로 독창적인 우위성 확보가 기대됨

나) 사회・경제적 측면

◦ 국내 USN 기반의 시장은 2006년 1.8억 달러 수준에서 2010년 20.9억 달러로 고도 성장할 것으로 전망. 향후 USN 보급의 확산으로 유비쿼터스와 u-지능형 서비스와 기술이 융합된 신규 서비스 창출과 이들 인프라와 연계된 다양한 산업의 동반 상승효과를 유도할 것으로 전망.

◦ 기술선점에 의한 수출 증대

- 국내 USN 기반 기술은 산자부, 정통부의 국가적 지원을 받아가며 진보를 거듭해 오고 있음. 본 사업을 통해 국내 기술이 관련 세계 시장에서 보다 뛰어난 성과로 나타날 수 있으며 이를 통한 관련 센서 시장에서 높은 수출증대가 발생할 것으로 예측

◦ 지반정보 관리 u-GISN 기술과의 경제적 시너지

- USN산업은 총 15조 4,912억 원의 총생산 유발효과 총 13만3천명을 고용을 창출할 전망
- USN 기술은 u-IT839에서도 국내 정부 시책으로 자리 잡고 있음

제 5 장 연구성과 활용 및 향후 진행방향

제1절 연구성과 활용방안

◦ 지반 분야 무선 통신기술 적용 수준은 지상 무선 통신에 의한 데이터 취득 자동화가 상용화된 정도이며, 지중무선통신 기술은 시험적용단계에 있다고 볼 수 있음. 부산 신항 공사 현장의 경우 일부 정보를 자동 취득하여 이를 상용화된 CDMA통신망으로 무선 수신한 후 사무실에서 데이터를 분석 및 관리하는 인터넷 기반 통합 관리 시스템을 시험 운영 중임.

◦ 지반 분야에 있어서 무선 통신기술의 궁극적 발전 방향은 지상/지중 무선데이터 취득 및 완전 자동 처리이며, 이를 통하여 기존의 시공 중 계측 관리 이외에도 공용 상태에서의 상시 모니터링 수요가 창출될 것임. 지중 무선 통신 기술을 유지관리 계측에 적용할 경우 다음과 같은 장점이 있음.

- 케이블이 없는 독립된 컴포넌트로 구성되어, 시공부터 공용 후 유지관리까지 연속적인 계측이 가능하고 계측기 설치 시간도 단축됨.
- 지반 및 지하구조물의 관리에서 센서 케이블을 지상 연결할 필요가 없기 때문에 지상 구조물 공사 및 공용 후 시설물 사용에 영향을 주지 않음.
- 센서 테이블 매설로 인한 구조물의 파손 및 기능 손상의 위험요소가 줄어들고 케이블에 의해 발생되는 계측기기의 고장 및 계측 등의 문제점을 회피할 수 있음.

◦ 지반환경 분야에서는 매립지 통합관리 분야와 Geothermal system의 관리 분야에서 USN의 활용이 현재 실현 가능한 상태임. 매립지 통합관리 시스템에서는 매립지 건설 전 매립지 바닥에 격자망 형태로 pH센서, 온도 센서, 토양수분 센서가 설치된 geo grid 시스템을 적용하여 침출수의 누출을 감지하고 이 데이터를 유선을 통해 지상의 데이터 로거로 전송시킨 후 USN기술에 접목시킴으로써 실시간 원격 관리가 구현될 수 있음. Geothermal system에서는 지열 전단 매질 이송관 내부에 온도 센서를 설치하여 에너지 공급 효율을 파악하고 이를 USN기술에 접목시켜 관리자가 원격으로 실시간 정보를 받아볼 수 있게 하여, 에너지 효율이 떨어지는 곳을 파악하고 이 시스템에 회복시간을 주면서 다른 시스템을 이용하는 방향으로 관리할 수 있음. 아파트 및 공업단지의 친환경 관리 시스템에서도 USN을 활용할 수 있는데, 넓은 부지에서 오염 예상 지역에 감지 센서를 설치한 후 USN기술을 접목시킨다면 넓은 지역의 아파트, 공장 부지를 효율적으로 관리할 수 있을 것으로 판단됨.

◦ 본 연구를 통해 개발된 무선통신기술 및 방폭 재질 데이터로거, 계측 시스템 솔루션 등은 사업화 및 타 분야 적용 측면에서 다양한 생산성을 보유함.

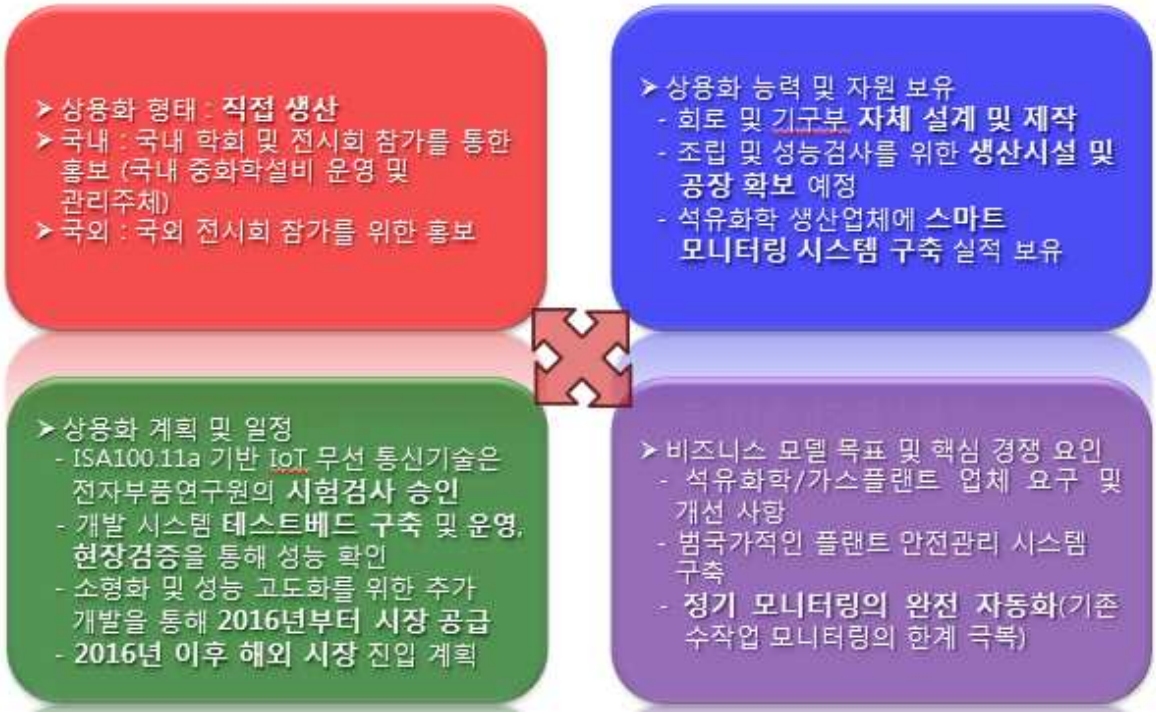
1) 플랜트 산업의 사업화 방안

- 국내 주요 수요처인 GS 칼텍스, SK 에너지, LG 화학, 한국가스공사, 삼천리 등에서는 방폭 규격을 만족하는 데이터 로거를 해외에서 수입하여 사용하고 있으나 가격이 고가이며 대부분 유선제품을 사용하고 있음. 따라서 본 과제를 통해 개발된 방폭형 무선 데이터 로거를 적용하면 해외 제품 보다 저가로 공급가능하고 유선통신으로 발생하는 문제점을 해결할 수 있으며 ISA100.11a 무선통신 규격에 의해 고신뢰성 및 보안성을 해결할 수 있음.

연도	수요처	국명	수요량	관련제품
2010	GS칼텍스	대한민국	600	Emerson Rosemount
	SK에너지		1,000	Emerson Rosemount
	LG화학		600	Emerson Rosemount
	한국가스공사		10,000	Emerson Rosemount
	삼천리		600	Emerson Rosemount
2011	GS칼텍스		800	Emerson Rosemount
	SK에너지		800	Emerson Rosemount
	LG화학		800	Emerson Rosemount
	한국가스공사		10,000	Emerson Rosemount
	삼천리		800	Emerson Rosemount
2012	GS칼텍스		1,000	Emerson Rosemount
	SK에너지		1,000	Emerson Rosemount
	LG화학		1,000	Emerson Rosemount
	한국가스공사		12,000	Emerson Rosemount
	삼천리		1,000	Emerson Rosemount

2) 사업화 계획 및 전략

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 상용화 형태 : 직접 생산/대리점 확보를 통한 영업 및 시스템 구축 o 수요처 : - 석유화학 및 가스 플랜트업체 : LG화학, GS칼텍스, 한화케미칼, 한국가스공사 등 - 산업단지공단
상용화 능력 및 자원보유	o 기업 및 기업 대표의 사업화 역량 - 기존 플랜트 시설물 모니터링 구축 실적 보유 - 구조물의 모니터링 시스템 등 유사과제 실적 보유 o 대표적 사업화 성공사례 - IoT기반의 무선 데이터 로거 : OmniCube - IoT기반의 방폭형 무선 데이터로거 : OmniCube-Ex - IoT기반의 이기종 통신 지원 게이트웨이 : OmniHub o 생산기반의 확보 및 생산성 - 회로 및 기구부 자체 설계/외주 제작 - 당사에서 조립 및 성능검사 직접 진행 - 조립 및 성능검사를 위한 생산시설 확보(제조업 등록) - 사업 확대에 따라, 별도의 공장 확보 예정
상용화 계획 및 일정	o 3차년도에 개발 시스템 테스트베드 구축 및 운영, 현장 검증을 통해 성능 확인 o 과제 3차년도인 2014년도부터 시장에 공급 계획 o 개발 종료 2년후 2016년도부터 해외 시장 진입 계획 o 플랜트 뿐만 아니라 다양한 산업 분야에 연계 가능하도록 고도화 추진



□핵심 기술 인프라 확보 및 서비스 개발

- USN기반의 위험 탐지 기술, 고신뢰성 무선 통신 기술, 그리고 안전 진단 및 관제 기술을 실제 주요 플랜트에 적용할 수 있도록 최적화된 지원 무선 산업 제어 인프라 확보

□핵심 기술 조기 상용화 및 사업성 강화

- 기존 USN 연구 사업 역량을 바탕으로 신규 산업용 무선 통신 기술 시장을 창출 및 사업 기반을 확대하고자 함. 특히, 연구개발 기간 내에 개발 기술을 기존 플랜트에 시범 적용함으로써 산업용 조기 기술 상용화를 가능하도록 함.
- 유무선 통신 기반의 축적된 운영 Know-How를 바탕으로 타사 대비 월등한 제품 고신뢰성 무선 솔루션을 제공.

□국토의 효율적인 모니터링을 위한 지중환경정보 수집용 u-GISN을 성공적으로 구축하여 전국망을 USN망으로 활용하여 신규 시장 창출.

□국가 주요 지역을 실시간 지중환경 정보 네트워크를 확립하여 지역 특성 및 현장 상황 차이에 따른 최적의 안전관리 방안을 제공하여 위험요소와 불안전성을 종합적으로 예측함과 동시에 경제성 분석을 수행하여, 본 기술의 활용성을 극대화 도모함.

	사업화 방식	설명
1	솔루션 판매	각 지역 유지관리 업체와 영업제휴, 솔루션 형태 판매
2	시스템 구축 용역	직업 영업을 통한 시스템 구축 및 유지관리
3	컨설팅	구축된 시스템으로부터의 데이터에 대한 분석 및 컨설팅사업

국내 수요기업

포스코건설, 삼성물산, 현대건설,
대우건설, GS건설, SK건설,
삼성중공업, 두산중공업 등의
건설/제작/조선해양기업 (약 80사)

포스코엔지니어링, 삼성엔지니어링,
현대엔지니어링, KOGAS-Tech., KOPEC, KEPCO
E&C 등의
플랜트 전문 설계기업 (약 400사)

가스공사, KOPEC 등의 주요기관,
남동발전, 동부발전 등의 발전 기업,
전문 유지관리 업체 (약 1000사)

해외 수요기업

미국의 Bechtel, KBR, 일본의 JGC, Chiyoda 화공,
IHI, MHI 등의
플랜트 EPC 전문기업 등

미국의 CB&I, 프랑스의 Linde, Technip, 일본의
Daisei, Shimizu, Obayashi 등의 대형 설계기업 등

각 나라의 전문 관리 기관 및
전문 유지관리 업체

사업화 형태

초기 사업기

- 각 산업단지별로 주요 관리 지반에 대한 모니터링 시스템 구축 용역형태로 수주
- 시스템 설계 및 센서, 계측시스템, 통신 시스템, 관제시스템을 포함한 토탈 솔루션 구축
- 용역사업을 통해, 설치 관련 매뉴얼 및 인허가관련 프로세스 등, 사업전반에 관한 프로세스 매뉴얼화

사업 확장기

- 각 산업단지별로 전문 유지관리 업체와의 유기적 협력(MOU)
- 전문 유지관리 업체에 시스템 구축 및 인허가에 관한 프로세스 매뉴얼 공급
- 센서, 계측시스템, 지반상태평가 솔루션, 무선통신 솔루션 일체 공급 및 컨설팅

해외 수출

- 대상 지역의 유력 유지관리 업체와의 유기적 협력(MOU)
- 국내에서의 실적을 바탕으로 공격적 마케팅
- 솔루션 형태로 제품 판매(구축은 현지 협력업체에서 담당)



(가) 개발기술의 생산특성

- 생산형태(완제품, 반제품, 부품 중) 및 최종제품에 사용이 예상되는 핵심원재료 리스트
  - CC2420, MSP430등의 USN관련 칩 : TI사에서 지속적으로 생산/공급
  - 무선통신보드 : 자체 설계 및 외주제작으로 안정적으로 생산/공급
  - 센싱보드 : 자체 설계 및 외주제작으로 안정적으로 생산/공급
  - 방폭함체 : 자체 설계 및 외주제작으로 안정적으로 생산/공급
  - 센서 : 미국, 일본, 국내 등 다양한 공급처를 통해 공급 가능
- 핵심원재료의 가격(현재시점)과 과거 가격추이 및 조달 측면상 용이성
  - 센서 : 미국, 일본, 국내 등 다양한 공급처가 있으므로, 수요자 중심으로 금액이 결정되며, 안정적 제품 공급 가능
  - CC2420, MSP430등의 USN관련 칩 : TI사의 독점적 공급이나, 범용적으로 쓰이는 칩이므로, 공급에는 문제가 없으며, 제품금액의 5%미만을 차지하여, 가격변동으로 인한 제품경쟁력 제한우려 없음.
  - 무선통신보드, 센싱보드, 방폭함체 : 자체 설계 및 다양한 외주업체를 통한 제작이 가능하여, 공급금액 및 조달측면에 문제발생 우려 없음
- 생산규모(대규모, 소규모, 대규모 생산 시설의 필요성 등)와 원료투입 및
  - 설계 : 자체 설계인력을 통한 설계
  - 각 모듈의 제작 : 각 모듈별로 전문 외주업체를 통한 제작을 하므로,

대규모 생산시설이 필요없음.

- 제품의 검사 : 통신모듈 및 센싱모듈의 품질/성능 검사를 위한 검사라인의 구축 필요.
- 제품검사전담팀 : 제품의 경쟁력을 유지하기 위하여 제품의 효과적인 품질검사 절차 및 기술이 필요함. 이를 위한 전담부서 설립 필요

(나) 기존 자원 활용정도

- 기존 사업아이템과 R&D과제의 연관정도
  - 비티컨설턴트(주)는 계측사업이 주 사업분야로 본 과제 개발산출물을 현장에 바로 적용할 수 있음
  - ㈜한국플랜트관리는 토목/플랜트 IT사업분야가 주 사업분야로 본 과제 개발산출물을 플랜트 유지관리 분야에 바로 적용할 수 있으며, U사업분야로 응용할 수 있음
- 기존 생산라인(설비포함) 예상 활용정도(%) 및 근거
  - (주)한국플랜트관리 : 80%
    - 기존 플랜트 구조물 모니터링 관련 계측솔루션 및 S/W구축사업을 하여, 제품에 대한 품질검사 전담팀 및 라인이 구축되어 있음
- 원재료 및 개발설비 공용화정도(%) 및 근거
  - (주)한국플랜트관리 : 50%
    - 기존 플랜트 구조물 모니터링 관련 계측솔루션을 위한 아날로그, 디지털 부품이 일부분 겹치며, 테스트 및 제작설비 공용 가능

(다) 최종제품의 제품경쟁력 수준

경쟁사	경쟁제품	제품경쟁력
NI	PXI 무선계측기	NI사의 무선계측기는 기존 Compact Type를 확장한 것으로 로컬 사이트 전용임 본 제안의 기술개발 제품은 로컬뿐만 아니라 광역적인 현장에서 적용이 가능함. 또한 Wibro, LTE, WiFi 등 다양한 종류의 장거리 통신 기술을 활용할 수 있어 최근 이슈가 되고 있는 U-City 건설에 적용할 수 있음

(라) 판매계획 및 전략

가) 연도별 판매계획

(단위 : 백만원)

연 도 별		1차년도 (2015년)	2차년도 (2016년)	3차년도 (2017년)	4차년도 (2018년)	5차년도 (2019년)
제품 1	국내	500	2,000	8,000	10,000	10,000
	해외		300	2,000	5000	10,000
제품 2	국내					
	해외					
합계		500	2,300	10,000	15,000	20,000

❍ 여수 산업단지 플랜트 시설물 모니터링 시스템 : 1km 구간 (산업단지공단 여수지사에서 유선망 1억 예산)



단위 : 억원	2014	2015	2016	2016
U-GISN 솔루션	15	25	40	60

3) 타 분야 적용

- 본 연구를 통해 개발된 방폭재질 무선 데이터 로거는 앞 서 설명된 국내외 플랜트 산업의 적용과 더불어, 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 아래의 표는 사회기반 시설물에서 적용되는 유지관리 계측시스템 구축 현황 및 사업화로써의 시장규모를 보여준다. 사회기반 시설물에서 방폭재질 무선 데이터로거의 적용은 난환경 분야로 유선계측시스템이 도입될 경우, 비용적 측면에서 고비용이 발생하는 분야를 고려할 수 있다. 이와 같은 분야에서 무선 데이터로거의 적용은 일의 효율성 및 비용 절감이라는 큰 이득을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

적용 사례	2013년	2014	2015
- 각종 지하철 공사 및 철도공사로 인한 주변 주요 구조물 안전관리모니터링 (한전 전력구, 도시가스관)	전력구 모니터링 - 건당 1억 도시가스관 모니터링 - 건당 0.5억 (*연간 50건이상 발생*)	총 시장규모 - 약 100억 정도	총 시장규모 - 약 100억 정도
- 초고층 유해가스 및 안전모니터링 시스템 구축	잠실 롯데 - 18억 포스코 본사 - 4억 일산 두산위브 - 2억 (*연간 20건 정도*)	총 시장규모 - 연 100억 정도	총 시장규모 - 연 100억 정도
- 장대 특수교량 모니터링 사업	서울 월드컵대교 유지관리 모니터링 사업 (6억) 압해~암태 새천년대교 유지관리 모니터링 시스템 (10억) 지도~임자간 특수교량 유지관리 모니터링 시스템(5억) 보령~태안 2공구 특수교 유지관리 모티러이 시스템 (10억) 화양~적금 2~4공구 특수교 유지관리 모니터링 시스템 (15억) 등		

- 2014년 김포도시철도에서 주변 인접물 시설물(전력구, 도시가스관) 모니터링 - 약 10억 반영
- 2014년 부산 사상~하단선 지하철 공사 주변 인접물 모니터링 - 약 13억 반영
- 2014 도담~영천 복선전철 공사 주변 인접물 모니터링 - 약 5억 반영
- 2014년 부전~마산 복선전철 공사 주변 인접물 모니털 - 약 10억 반영 등

본 연구의 개발품의 타 분야 적용 기술은 크게 무선 계측기술과 방폭재질 데이터로거의 적용으로 분류할 수 있으며, 각각의 적용 특징은 다음과 같다.

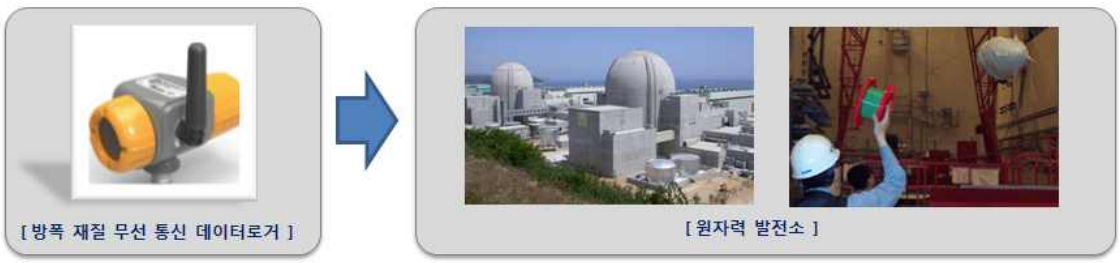
◎ ISA100.11a 무선 네트워크 기술의 토목분야 적용

: 최근 건설 기술력의 향상은 초장대 교량인 사장교 및 현수교와 초고층 빌딩에 대한 수요가 급증하고 있다. 수요의 급증은 안전과 사용성에 대한 필요성이 함께 증대되고, 이는 유지관리 시스템의 도입으로 발전한다. 기존의 유지관리 시스템은 유선 계측 시스템으로 초장대 및 초고층 시설물에 유선 케이블의 도입으로 시스템 구축 비용의 증대를 유발한다. 이에, 비용 절감의 방법으로 무선 계측시스템의 관심이 증가하고 있다. 무선 계측시스템의 도입은 기존 유선 계측시스템과의 효율성은 도입하면서 비용 절감을 급대화하기 위한 방법으로 본 과제를 통해 개발된 ISA100.11a 무선 네트워크 기술은 효율성 측면에서 매우 유용하게 적용가능하다.



◎ 방폭재질의 데이터로거를 활용한 원전 시설물 계측 시스템

: 후쿠시마 원전 사고는 세계적으로 원전구조물의 안전성에 대한 의문을 가져오게 되었다. 국가 에너지 공급 차원에서의 효율성 차원에서는 매우 유용한 구조물이나, 사고 시에는 매우 심각한 결과를 초래하는 시설물로써 원전구조물의 안전성을 확보한다는 측면에서 유지관리 계측시스템의 개선이 필요하다. 본 연구에서 개발된 방폭재질의 무선 데이터로거는 원전구조물의 폭발 및 화재에 대한 대비하여 안정적인 감시가 가능하다는 장점이 있으며, 폭발 및 화재의 순간에도 시스템을 운영할 수 기술을 재연하는데 매우 유용한 자료가 될 수 있을 것이다.



제2절 향후 연구개발 진행방향

○ USN 기술은 지반공학 분야에서 다양하게 활용될 수 있는 꼭 필요한 기술이며, USN 기술과 지반 공학과의 융합을 통해 고부가가치의 국토 모니터링 시스템 시장을 창출할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 위해서는 다음 사항이 선결 되어야 한다.

○ 지반공학 분야의 다양한 요구사항을 조정하고 선별적으로 반영. 지반공학 분야에서 원하는 이상적인 USN센서란 1) 다양한 계측 센서의 설치 및 운용이 가능해야 하며, 2) 지중을 포함하는 무선 네트워크를 구축, 개별 정보를 서로 공유할 수 있으며, 3) 충분한 배터리 용량, 또는 자동 충전 시스템, 그리고 충분한 저장 능력을 갖추고 있어서 높은 데이터 수집 빈도를 유지하면서도 4) 항구적으로 사용할 수 있는 시스템이다.

○ 또한 운영 시스템에 있어서는 다양한 종류의 센서 신호를 통합 관리할 수 있는 표준화된 통합 데이터 로거, SAR 또는 입체 영상 데이터의 처리 등 긴 처리 시간으로 실시간 분석이 불가했던 것을 가능케 하는 고성능 프로세서 등이 요구되고 있다.

○ 그러나 모든 것을 만족시키는 공학적 해결책은 존재하지 않는다. 예컨대, 데이터 수집 빈도를 높이고 항구적으로 사용하기 위해 배터리 용량을 늘리려면 센서 패키지의 크기가 커질 수 밖에 없다. 이는 설치의 편의성 측면에서 큰 문제를 야기할 수 있다. 자동 충전 시스템을 도입하는 것도 현재로서는 한계가 있을 뿐 아니라, 태양광 충전 방식 역시 센서 종류에 따라 제한적으로 이용될 수 밖에 없다.

○ 따라서 데이터 수집 빈도를 우선적으로 높여야 할 시점을 파악해 그에 맞게 기술적인 trade off를 하면서 시스템을 구축해야 한다. 즉, 현재와 미래의 기술적 한계를 감안하여 다양한 요구사항을 조정하는 작업이 선행되어야 하며, 이를 통해 USN 개발 전략이 수립될 수 있을 것이다. 또한 실시간 계측과 분석뿐 아니라, 실시간 문제 해결을 위한 시스템을 구축해야 한다.

○ 미래형 USN 기술은 단순히 계측 장비의 무선화를 넘어서야 하며, 따라서 기계 로봇 공학이 접목된 메카트로닉스 기술의 도입이 시급하다. 단순한 계측 데이터의 전송 이외에 각종 센서의 active control을 위한 연구가 도전적으로 시도되어야 할 필요가 있다. USN 기술에서는 지반 내부 무선통신의 불리함을 극복하기 위한 연구가 시급하다고 판단된다.



○ 플랜트 구조물은 계측이 제도화되어 있지 않아 시장 진입이 당장은 어려우며, 최근 타 구조물에 대한 계측 제도화 연구가 진행되고 있으니, 이들과 발맞추어 제도화를 우선적으로 진행해야할 것으로 판된됩니다.

○ 실제 플랜트 구조물에 대한 적용을 위해 연구기간동안 협의를 통해 구조물(여수 산업단지 내 10-2구간 오버브릿지)에 대한 검증은 수행되었으니, 지반에 대한 부분은 허가가 나

지않아 2차년도에 유사지반에 대한 지반거동분석을 수행하였습니다. 향후 여수산업단지 내에 지반거동 실증예는 지속적인 협의를 통한 실현해 나가고자 함.

○ 설계기준 및 시방서 등의 법적인증방안으로 추가 연구과제 도출이나 사업화를 위한 필수 내용을 지속적인 검토를 수행하고자 합니다.

제 6 장 참고문헌

1. 국내 참고문헌

(1) 건설교통부, 1998. 2, 국가지리정보체계 구축사업 발전방안 연구
(2) 건설교통부, 2000, 도시정보(UIS)기반 구축 방안 수립연구
(3) 건설교통부, 2000, 토지이용현황도 수치지도화사업
(4) 건설교통부, 2000. 12, 지하시설물도수치지도화사업 관련 규정집
(5) 건설교통부, 2001, 인터넷 토지민원서비스를 위한 기술동향 분석
(6) 건설교통부, 2001~6, 도로표지 전산관리 시스템 구축사업
(7) 건설교통부, 2001~6, 지반정보 DB구축 및 시스템 개발사업
(8) 건설교통부, 2001, 토지관련 정보시스템 연계방안
(9) 건설교통부, 2001. 1, 지하시설물도 수치지도화사업 구축전략 연구(Ⅰ,Ⅱ)
(10) 건설교통부, 2001. 6, 건설교통 SOC 정보시스템 연계를 위한 기반연구
(11) 건설교통부, 2001. 6, GIS선도기술 동향·도입방안 및 국제협력 기반구축
(12) 건설교통부, 2001. 6, 기본지리정보 구축사업의 품질확보방안 연구
(13) 건설교통부, 2001. 6, 세계좌표계 도입에 따른 기준점 구축 및 관리방안
(14) 건설교통부, 2001. 6, 한국지형에 적합한 수치표고모형 구축방안 연구
(15) 건설교통부, 2002. 4, 지하시설물(상·하수도)관리 범용프로그램 활용방안 연구
(16) 건설교통부, 2002. 5, 제1차 국가GIS사업 백서
(17) 건설교통부, 2002, 건설공사에 GIS활용방안 연구
(18) 건설교통부, 2002, 사회간접자본 기반영상체계 구축·활용
(19) 건설교통부, 2002. 11, 도로와 지하시설물 통합관리 시범사업 연구
(20) 건설교통부, 2002~6, GIS구축현황(지방자치단체 및 시설물관리기관)
(21) 건설교통부, 2003, 국도건설 종합지반정보 DB구축 및 활용시스템 개발사업
(22) 건설교통부, 2003, 모빌GIS기술을 이용한 지자체 지리정보 활용방안 연구
(23) 건설교통부, 2003, 친환경 요인을 고려한 SOC공사에 시공간적 3차원 통합영향평가 연구
(24) 건설교통부, 2003. 11, 도로기반시설물 통합관리사업 확대추진 방안 연구
(25) 건설교통부, 2004, 유비쿼터스 기술의 GIS/LBS 활용방안 연구
(26) 건설교통부, 2004, 도시철도건설계획 수립을 위한 GIS활용 의사결정지원기술 개발
(27) 건설교통부, 2004. 10, 시설물관리 범용시스템을 활용한 도시정보체계 구축 방안 연구
(28) 건설교통부, 2004. 5, 유비쿼터스 기술의 GIS/LBS 활용방안 연구
(29) 건설교통부, 2005. 10, 웹환경 도로기반시설물 범용시스템 개발지침 연구
(30) 건설교통부, 2005, GIS/LBS 기술을 이용한 동적 도로소통정보 조사/분석체계 타당성 연구
(31) 건설교통부, 2005, GIS 기술을 활용한 기간도로 수해 응급복구 효율화 연구
(32) 건설교통부, 2005, GIS를 활용한 효율적 하천치수사업 관리기법 개발연구

(33) 건설교통부, 2005, 유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 기술개발
(34) 건설교통부, 2006. 3, 유비쿼터스 시대에 위치정보제공 인프라 구축을 위한 인텔리전트 기준점 개발
(35) 건설교통부, 2006. 7, 제2차 국가GIS사업 백서
(36) 공형민 외 2인, 2005. 1, UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법, 전자공학회 논문지
(37) 과학기술부, 2006, uT-Agent: 지능형 실시간 서비스 분산처리 기술 개발
(38) 국토연구원, 1997, 수치지도 정확도 향상방안 연구
(39) 국토연구원, 1997. 4, 지하시설물 관리체계 개발 시범사업 종합보고서
(40) 국토연구원, 1999, 선진GIS국가의 지하시설물 통합관리방안 연구
(41) 국토연구원, 1999, 지하시설물 측량의 정확도 향상방안 연구
(42) 국토연구원, 1999, 지하시설물도 검수보고서
(43) 기획예산처, 1999, NGIS사업의 투자효율화방안 연구
(44) 김대영, 2004, 센서네트워크 최신동향, 옥타컴세미나자료집
(45) 김선경 외 1인, 2004, 도시방재분야에서의 유비쿼터스 정보기술 활용방안에 관한 연구, 서울시립대학교
(46) 김성원, 2003.10, ArcGIS DataModel : 객체지향적 공간DB 구축을 위한 비즈니스 표준 유형, 캐드랜드,한국에스리
(47) 김완석, 2003, 유비쿼터스 컴퓨팅의 동향과 표준화 추진 사례, ETRI
(48) 김용균, 2004, 차세대 홈 네트워킹 기술로 주목받는 무선 홈 네트워킹 기술, ITTA
(49) 김원수 외 1인, 2004, ZigBee 기술 동향 및 시장 전망 분석, 전자부품연구원
(50) 김은형, 2005, 도시정보시스템의 연계활용방안:공간정보데이터웨어하우스와 시도행정DB의 연계필요, 자치정보화조합
(51) 김은형, 2006. 4, u-City 서비스 표준화, u-City Forum
(52) 김재선, 2004. 6, 내장형 소프트웨어를 위한 적응형 소프트웨어 개발 기술, 한국정보과학회 학회지
(53) 김재영, 1994, GIS와 국토공간계획, 국토개발연구원
(54) 김태훈 외 3인, 2005 GIS/RS 공동 춘계학술대회, 유비쿼터스 환경의 기반기술 분석 및 GIS/LBS 활용방안 연구
(55) 김정태, “소수의 고유진동수를 사용하는 비파괴 균열발견모델의 유도 및 검증”, 한국전산구조공학회 논문집, 12권, 2호, pp. 149-159, 1998.
(56) 김형년 외 1인, 2006, 영상 감시 시스템에 적용 가능한 의도기반 상황인식 모델에 관한 연구, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 Vol. 33, No.1
(57) 김홍남, 2003, u-Korea를 위한 임베디드 S/W 플랫폼 기술 개발, u-Korea Forum 창립 기념 세미나 자료집
(58) 노무라 종합연구소, 2003, 유비쿼터스 네트워크와 신사회 시스템, 전자신문사
(59) 농림부, 2005, 임도의 효율적 관리를 위한 공간정보 활용기술 개발
(60) 리처드 헌터, 2003, 공유와 감시의 두 얼굴 - 유비쿼터스, 21세기 북스

(61) 문은영 외 2인, 2006, 상황인식 어플리케이션 개발의 컴포넌트 기반 접근법, 한국정보과학회 가을 학술발표 논문집 Vol.33, No.2
(62) 박성수 외 3인, 2003, 유비쿼터스 스마트 태그 칩 기술 동향, ETRI
(63) 박세현, 2005, 유비쿼터스 홈을 위한 상황인지 서비스 기술, 중앙대학교
(64) 박승창, 2005.11, RFID 관련 국내외 기술 및 산업의 최근 동향 분석, ITFIND 주간기술동향
(65) 박재형, 이용환, 김정태, 류연선, “웨이브렛 변환을 통한 보 구조물의 고유진동수 기반 손상 모니터링”, 한국강구조학회 2004년도 학술발표회 논문집, 2004.
(66) 박정하 외 3명, 1999, 미들웨어:OLE DB를 기반으로 한 공간 데이터 변경 기법에 관한 연구, 한국정보통신연구진흥원
(67) 부산광역시, 1999, 도시정보시스템(UIS)발전방향 연구
(68) 사카무라 겐, 2002, Ubiquitous Computing, 동방 미디어
(69) 사카무라 겐, 2003, 21세기 일본의 정보 전략, 동방 미디어
(70) 사카무라 겐, 2003, 유비쿼터스컴퓨팅 - 그 실현을 위해, u-Korea Forum 창립 기념 세미나 자료집
(71) 삼성경제연구소, 2006. 6, u-City의 성공적 개발모델 및 시사점
(72) 삼성SDS, 2004, u-City 비즈니스 모델정의서 작성용역
(73) 서울시정개발연구원, 2006, 서울시 GIS 현황 분석·평가 및 3단계 GIS 기본계획 수립연구
(74) 서울특별시, 1999, 하수도 관리 전산 시스템 구축 기본계획
(75) 서울특별시, 2001. 11, 공간데이터웨어하우스 구축 기본설계
(76) 석현정, 2002, GIS DB 구축 감리 모델에 관한 연구, 부산대 대학원
(77) 성종현, 2002, 지리정보시스템에서의 공간 접근 방법, 성균관대 대학원
(78) 손대락, 2004, 센서의 특성과 적용분야, 옥타컴세미나자료집
(79) 양승원, 2004, 일본 텔레매틱스 4대 플레이어, 도요타, 닛산, 혼다, 파이오니아, sbr&c
(80) 연상호,이영욱, 2004, 공간정보 가시화를 위한 MAP DB 설계방안 연구, 한국컨텐츠학회
(81) 염형민 외 2명, 2002, 국가 GIS 통합 Data Model 확립 연구, 건설교통부
(82) 오광석, 2003, u-정부의 추진 전략 및 방안, u-Korea Forum 창립 기념 세미나 자료집
(83) 우제윤 외 19명,2004,국도건설 종합지반정보 DB구축 및 시스템 개발 추가 사업, 최종 보고서 건설교통부
(84) 윤현수, 2004, 센서네트워크를 위한 Ad-hoc 라우팅, 옥타컴세미나자료집
(85) 윤훈주, 2004, MIT 미디어랩의 연구동향, 제9회 UBIU 세미나자료집
(86) 은성배, 2004, 센서네트워크 개발솔루션 및 응용, 옥타컴세미나자료집
(87) 이병찬, 2002, 개체 상호작용의 DB연동을 적용한 디지털 공간 계획 연구, 국민대 테크노디자인전문대학원
(88) 이성재, 2006, 아파트 평면 공간의 DB 구축에 관한 연구:Active Server Page를 중심으로, 전북대 대학원
(89) 이종훈 외 4인, 2006. 12, 실시간 실내외 측위 기술 개발 동향 분석, 텔레콤 제22권 2호

(90) 이재현, 2004, USN 기술동향, 충남대학교
(91) 이혁준 외 1명, 2003, 정량적 공간분석 모델에 관한 연구, 한국실내디자인학회
(92) 임영택,최봉문, 2005.11, 지방자치단체의 공간정보수요에 따른 공간DB 구축방안 연구, 한국컨텐츠학회
(93) 장선호 외 2인, 2006, 유비쿼터스 센서 응용서비스 및 개발동향, 정보통신부
(94) 장재득 외 2인, 2004, 융합 휴대 단말 기술 현황 및 표준화 동향, ETRI
(95) 전자신문사, 2005, 유비쿼터스 백서
(96) 전황수 외 1인, 2004, 유비쿼터스 시대의 새로운 서비스 모델 창출방안 연구, 전자통신동향분석 제19권
(97) 정보통신부, 2006, u-Korea 기본계획 수립
(98) 정보성,민규홍, 2000, 아파트 실내공간의 조명에 대한 이미지 DB 구축을 위한 연구, 국민대학교환경디자인연구소
(99) 정진완 외 13명, 1999, 국가지리정보시스템 Tool 기술 개발;공간객체관리시스템 개발, 한국과학기술원
(100) 정헌만, 이정현, 2006. 7, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서의 상황 인식을 위한 확률 확장 온톨로지, 한국컴퓨터정보학회
(101) 제주시, 2004, 제주시 도시정보시스템 기본계획 학술용역
(102) 지경용, 김문구, 박종현, 2006.2, 유비쿼터스 도시(u-City)의 시장 기회와 잠재력,
(103) ITFIND 주간기술동향
(104) 한국건설기술연구원, 2002, 건설IT활용확산을 위한 기획연구
(105) 한국시설안전기술공단, 2002. 1, 시설물정보 통합관리시스템
(106) 한국정보사회진흥원, 1997, 정보공동이용의 활성화 전략, 정보화저널 Vol.4
(107) 한국정보사회진흥원, 1998.12, 주요 공공정보의 공동활용현황 및 표준화 대상 분석
(108) 한국정보사회진흥원, 1999, 정보공동활용 연계·통합 모델 및 추진절차에 관한 연구
(109) 한국정보사회진흥원, 1999. 11, 지리정보 DB의 설계를 위한 데이터모델 표준화 연구
(110) 한국정보사회진흥원, 2000. 12, 개방형 통합 GIS 구성을 위한 표준화 연구
(111) 한국정보사회진흥원, 2001, 정보공동활용사업 추진지침 개발
(112) 한국정보사회진흥원, 2005. 9, 한국형 u-City 모델 제안 IT 전략 이슈
(113) 한국정보사회진흥원, 2005.10, u-City 응용서비스 모델 연구
(114) 한국정보사회진흥원, 2005.10, u-City 적용기술 및 표준화 연구
(115) 한국정보사회진흥원, 2007, Safeguard of u-Society, LBS
(116) 행정자치부, 1999, 행정정보 공동이용 시스템 구축설계(결과보고서)
(117) 홍원표, 2006 .11, 네트워크기반 지능형 방재시스템의 설계방안에 관한연구, 한국조명-전기설비학회 추계 학술대회 논문집
(118) 환경부, 폐기물 운반차량에 대한 위치추적시스템 구축 타당성 연구
(119) ETRI, 2003, 미・일의 유비쿼터스 IT 관련 예산 및 정책동향
(120) IITA 기술정책정보단, 2004. 4, 상황인식 컴퓨팅 기술 동향

(121) IITA 기술정책정보단, 2004. 12, 상황인식 서비스 기술 연구 동향
(122) Uwe Hansmann 외 2인, 2003, Pervasive Computing Handbook, 진한도서

2. 국외 참고문헌

(1) A. Savvides, H. Park, and M. Srivastava, The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems, 1st ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), pp. 112-121, Atlanta, GA, Sept. 2002.
(2) A. Smailagic et al, Towards Context Aware Computing, IEEE Intelligent Systems, vol 6, no. 3, May/June 2001, pp.38-46.
(3) Agneni, A., Crema, L.B. and Mastroddi, F. (2000), "Damage Detection from Truncated Frequency Response Functions", European COST F3 Conference on System Identification and structural Health Monitoring, Madrid, Spain, pp. 137-146.
(4) Agre, J.R., Clare, L.P., Pottie, G.J. and Romanov, N.P. (1999). "Development Platform for Self-Organizing Wireless Sensor Networks", Proceeding of SPIE - Conference on Unattended Ground Sensor Technologies and Application, Vol. 3713, pp. 257-268.
(5) Bodeux, J.B. and Golinval, J.C (2000). "ARMAV Model Technique for System Identification and Damage Detection", European COST F3 Conference on System Identification and Structural Health Monitoring, Madrid, Spain, pp. 303-312.
(6) C. E. Perkins and H. Harjono, Resource discovery protocol for mobile computing, Mobile Networks and Application, p. 447-455, 1996
(7) C. Savarese, J. Rabaey, and K. Langendoen, Robust positioning algorithm for distributed ad-hoc wireless sensor networks, USENIX Technical Annual Conference, Monterey, CA, June 2002.
(8) C. Perkins, SLP white Paper, Technical report, Sun Microsystems, 1998.
(9) D. Niculescu and B. Nath, Ad-hoc positioning system, GlobeCom, 2001.
(10) FEMA, A Nation Prepared : FEMA Strategic Plan FY2003-2008, 2003.
(11) G. Abowd and C. Atkeson, Future computing environment : Cyberdesk. Tehcnical report, Gerogia Institute of Technology, 1998.
(12) G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K.J.R. Liu, Signal processing techniques in network-aided positioning, IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22,no. 4, pp. 12.23, July 2005
(13) Gore, A., The Digital Earth : Understanding Our Planet in the 21st Century, 1998.
(14) N. B. Priyantha, H. Balakrishnan, E. Demaine, and S. Teller, Anchor-free distributed localization in sensor networks, Technical Report 892, MIT Laboratory for

Computer Science, April 2003.
(15) NASA, 2006 NASA Strategic Plan, 2006
(16) P. Bahl and V. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, Proceedings of the IEEE INFOCOM'00, March 2000.
(17) R. Want, K. Fishkin, B. Harrison, Bridging real and virtual worlds with electonic tags, Technical report, Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, CA. 1999
(18) Ralph M. Kling, Intel Mote : An Enhanced Sensor Network Node, Intel Workshop on Advanced Sensors, Structural Helath Moniroing and Smart Structures, Nov. 2003
(19) S. Capkun, M. Hamdi, and J.Hubaux, Gps-free positioning in mobile ad-hoc networks, In Proc. Hawaii Int. Conf. on System Sciences, 2001.
(20) T. D. Hodes, R. H. Katz, E. Servan-Scriber, and L. Rowe. Composable ad-hoc mobile services for universal interaction, Mobicom □97, pp. 1-12, NewYork, NY, 1997. ACM
(21) Weiss, T., Bringing Together a World of Information, Computer World, 2000
(22) Chang, S.E. and Shinozuka, M., "Measuring Improvements in the Disaster Resilience of Communities", Accepted for Publication, Earthquake Spectra, 2004.
(23) Kim, J.T., Ryu, Y.S., Cho, H.M., and Stubbs. N."Damage identification in beam-type structures: frequency-based method vs mode-shape-based method", Engineering Structure, Vol. 25, pp. 57-67, 2003.
(24) Kim, J.T., Yun, C.B., and Park, J.H. "Thermal effects on modal properties and frequency-based damage detection in plate-girder bridges", Proc. of SPIE 2004, San Diego, USA, 2004a
(25) Yoo, S.H., Kwak, H.K., Kim, B.S. "Detection and location of a Crack in a Plate using Modal Analysis", Proc. of 17th IMAC, Kissimmee, Florida, pp. 1902-1908, 1999.
(26) Wolff, T., and Richardson, M. "Fault Detection in Structures from Changes in Their Modal Parameters", Proc. of 7th IMAC, pp. 87-94, 1989.
(27) Storer, D., Gatti, S., McFadden, P. "Case Study on the Vibration Monitoring of Damaged Roller Element Bearings", Proc. of DAMAS '97, University of Sheffield, UK, June 1997, pp. 237-248, 1997
(28) Mitchell, L.D., "Increasing the Sensitivity of the Modal Assurance Criteria(MAC) to Small Mode Shape Changes", Proc. of 16th IMAC, pp. 64-69, 1997.
(29) Ewins, D.J. Modal Testing: Theory and Practice, Research Studies Press LTD, 1986.
(30) Randall, R.B., Frequency Analysis, Research Studies Press LTD, 1987.
(31) Dally, J.W., and Riley, W.F. Experimental Stress Analysis, McGraw Hill, 1978
(32) Craig, R. R. Structural Dynamics, Wiley, New York, 1990
(33) Devore, J. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, Brooks/Core, USA, 1987.

부 록. 정량적 연구 성과물

1. 특허 출원 1건
2. 논문 발표 2건
3. 시험성적서 3건
4. 시제품 1건
5. 품질인증 1건
6. 소프트웨어 1건
7. 테스트베드 구축 1건

1. 특허 출원 1건

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2014.07.29
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2014-0096595 (접수번호 1-1-2014-0718524-84)
출원인 명칭	(주)한국플랜트관리(1-2012-058059-0)
발 명 자 성 명	박수열 강성민 김무승 원병연 여금수
발 명 의 명 칭	플랜트 구조물의 박스컬버트 상태 모니터링 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

2. 논문 발표 2건

가. 한국구조물진단유지관리공학회 (2013.04.11.~13, 해운대그랜드호텔)



P-016 하중저항계수평가 방법에 의한 개선된 교량 모델의 내하성능 평가
김세훈·박영수·이종재

P-017 펄스 레이저 스캐닝 기반 초음파 영상화 기술을 활용한 배관 구조물 손상 진단
김현욱·이지성·이창길·박승희

P-018 변위 이력관리에 관한 해석적 연구
양재민·이지훈·최세운·박효선

유지관리

P-019 고속도로 교량의 상태등급 변화특성
김동현·이일근·박창호

P-020 케이블교량의 온도신축거동 평가 방안
김현중·박종철·조준상·길홍배

P-021 반강성 복합포장 방법을 이용한 교면포장시공
노재호·허형석·이병재·김윤용

P-022 케이블교량의 착설과 착빙 대책에 관한 고찰
박종철·이일근·김현중

P-023 국내 쉴드 터널의 유지관리 현황
성주현·홍선미·신병길

P-024 강사장교의 공기역학적 감쇠비 추정
이덕근·김인호·백도준·마상수·이상철

P-025 영상기반 구조물 관리 프로그램 개발
이병주·이진호·이재선·서진원

P-026 IoT기반 안전관리시스템을 통한 플랜트 파이프랙 구조건전성 모니터링
이용환·박수열·강희철·송병훈·여금수

P-027 강재부식 방지를 위한 전기방식 시설물의 유지관리
김홍삼·김진철·유혁진

P-028 고속도로 교량의 부재별 상태등급 변화 특성 분석
이일근·박창호·박종철·강형택·이수현

P-029 고속도로 교량의 손상유형 분석
전준창·이일근·박창호·조규상·이희현

P-030 표면차수벽 석괴댐의 차수벽 배면공극조사 개선방안
신창건·김영환·채민이·김경진·이홍열

IoT기반 안전관리시스템을 통한 플랜트 파이프랙 구조건전성 모니터링

Structural Health Monitoring of Plant Pipe Rack using Safety Management System based on IoT(Internet of Things)

이용환* 박수열** 강희철*** 송병훈**** 여금수*****
Lee, Yong Hwan Park, Soo Yeol Kang, Hee Cheul Song, Byung Hun Yeo, Keum Soo

Abstract

The importance of plant pipe rack safety management has been increased. In this study, a plant safety management system based on IoT(Internet of Things) was constructed in Yeosu Industrial Complex. The purpose of this study is to investigate the structural characteristics performance and structural health monitoring of pipe rack using measured data

1. 서 론

국내 플랜트 산업은 시공분야에 집중되어 있어 플랜트 시설물 유지관리 및 안전관리 분야에의 기술개발 및 연구는 거의 전무한 실정이다. 플랜트 산업단지 노출배관, 파이프랙 등과 같은 시설물은 노후화로 인한 지속적인 손상이 발생하고 있으나 육안검사 등에 의한 일상점검 수준의 유지관리만 이루어지고 있다. 특히 파이프랙은 플랜트 산업단지 내.외의 배관을 지지하고 있는 핵심구조물로 파이프랙의 지속적인 손상으로 인한 붕괴 발생 시 가스,화학배관 등의 폭발을 야기 시킬 수 있고 이는 인명, 재산손실 등을 동반한 대규모 사고로 발전할 수 있으므로 파이프랙의 지속적인 안전성 감시 및 건전성 모니터링은 필수적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 여수 국가 산업단지 사외배관 파이프랙에 IoT 기술을 적용한 안전관리시스템을 구축하였고 계측된 응답 자료 분석을 통해 파이프랙 구조거동을 분석하였다.

2. IoT 기반 계측시스템 설계

2.1 계측항목 선정

파이프랙 구조물에 작용하는 하중은 자중, 배관하중, 풍하중, 지진하중, 지점침하 등이 있다. 각기 다른 하중에 의해 발생되는 부재 응력의 크기 및 최대응력 발생위치는 모두 다르다. 따라서 구조물

* (주)한국플랜트관리 과장, 정회원
** (주)한국플랜트관리 대표이사, 정회원
*** (주)한국플랜트관리 이사
**** 전자부품연구원 책임연구원
***** (주)한국플랜트관리 주임

의 국부지역 정적 모니터링이 가능한 시스템과 전역적 동적 모니터링이 가능한 시스템을 혼용하여 계측항목을 선정해야 한다.

본 연구에서 선정한 계측항목은 Table 1과 같다.

Table 1 파이프랙 계측항목

	계측 항목	적용 센서
정적 모니터링	부재 응력(변형)	변형률계
	구조물 기울기	경사계
	부재 온도	부재온도계
동적 모니터링	구조 동특성	가속도계

2.2 IoT기반 계측시스템 현장 적용

본 연구에서는 여수국가산업단지 10-2구간 오버브릿지 파이프랙 구조물을 대상으로 IoT 안전관리시스템을 구축하였다. IoT기술을 적용한 안전관리시스템은 센싱기술, 근거리 및 광역 통신 네트워킹 기술 그리고 스마트 플랜트 안전 서비스로 구성된다. Fig.1은 오버브릿지 파이프랙 구조물 전경과 센서 위치 및 수량을 나타내었고, Fig.1에 IoT 안전관리시스템 구축현황을 나타내었다.



(a) 오버브릿지 파이프랙 (b) 계측센서 위치 및 수량

Fig. 1 오버브릿지 파이프랙 전경 및 계측센서 위치



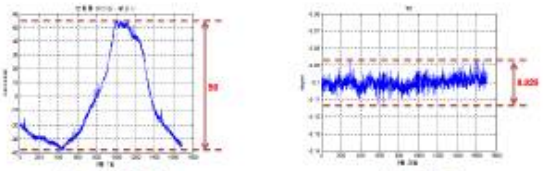
(a) 계측센서 (b) IoT 네트워크 장비 (c) 보호함체

Fig. 2 IoT 플랜트 안전관리시스템의 구성

3. 계측자료 응답 분석

IoT 안전관리시스템으로부터 계측된 데이터를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 변형률 데이터의 일 변화량을 나타낸 것이다. 일간 최대 변동폭은 90ustrain으로 나타났으며 이는 구조손상에 의한 것이 아니라 온도에 따른 변화량으로 판단된다. Fig 3(b)는 파이프랙 경사 데이터이다. 최대 변동폭 0.026degree로 기울기변화가 거의 없음을 나타내고 있다.

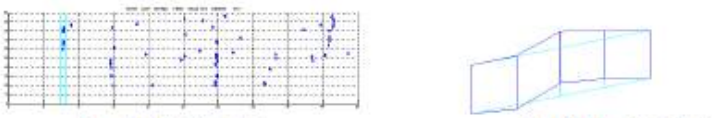
Fig. 4는 계측된 진동가속도 응답을 활용하여 오버브릿지 파이프랙 동특성 추출결과를 나타내었다. 동특성 추출은 추계론적 부공간 규명법을 활용하였다. 초당 512개로 데이터를 수집하였으며 총 계측점은 6개이다. Fig. 3(a)은 상태안정도 차트를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 파이프랙 동특성은 1차모드는 추출되고 있으나 1차모드 이외의 구조물 고유의 미세진동 모드는



(a) 변형률 (b) 경사

Fig. 3 오버브릿지 파이프랙 계측데이터

거의 나타나지 않고 있다. 이는 파이프랙 구조물 자체 진동이 적게 나타나 생기는 현상으로 판단되며 정확한 구조동특성 추출을 위해서는 가진시험과 같은 추가 실험이 수행되어야 할 것이라 판단된다. Fig. 3(b)는 1차 휨모드 형상을 나타내고 있으며 7.82hz의 고유진동수를 나타낸다.



(a) 상태안정도차트 (b) 휨1차 모드형상

Fig. 4 오버브릿지 파이프랙 동특성

4. 결 론

본 연구에서는 여수국가산업단지 오버브릿지 파이프랙 1개소에 IoT 안전관리시스템을 구축하고, 계측된 응답을 분석하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) IoT 안전관리시스템은 플랜트 파이프랙 건전도 모니터링에 효율적으로 적용할 수 있었다.
(2) 변형률 및 구조경사 응답자료를 보았을 때 현 상태의 파이프랙은 정상 거동을 나타내고 있었으며, 진동응답 자료를 활용한 동특성 추출 결과를 보았을 때, 정상 거동을 나타내고 있으나 구조 진동자체가 매우 적게 나타나므로 정확한 동특성 추출을 위해서는 추가 시험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.
(3) IoT 안전관리시스템을 통해 계측되는 각 데이터의 장기 분석을 수행하여 계절간, 연간 구조거동 분석을 통해 파이프랙 건전도를 지속적으로 모니터링하고 파이프랙 안전진단을 위한 기초자료로 활용할 수 있어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 건설교통기술촉진연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이종재, 김계옥, "파이프랙 구조의 열-구조 연성해석," 한국구조물진단유지관리공학회 2012년도 가을학술발표 논문집, 제16권 2호, 2012.

나. 한국구조물진단유지관리공학회 (2013.10.10~12, 강원도 쏠비치 호텔&리조트)



P-009 자기펄스 신호를 이용한 PC텐던의 긴장력 추정
곽임종·이정우·김병화·조창빈

P-010 초음파 시험법을 이용한 콘크리트의 강도 추정 범위에 관한 연구
박성우·강동수

P-011 콘크리트 구조물 비파괴시험의 표준화 방안에 대한 연구
강 철·최수훈·오광진·신주열

P-012 콘크리트 궤도의 변상특징-침목과 도상 중심으로
이유석·정재훈·성주현·박광순·오영석

P-013 블록-아웃을 이용한 연속화 거더의 긴장 손실 감소
김윤용·박용진·방진욱·신경준·이환우

유지관리

P-014 100m 케이블을 활용한 케이블 점검 및 계측 기술의 검증 실험
김현중·박종철·이일근·강상규

P-015 3D 스캐닝 방법을 이용한 제체의 진행성 변위 연구
신창건·김 훈·채민이·김경진

P-016 IoT기반 플랜트 배관진단 시스템 개발
이용환·오정석·박수열·여금수

P-017 건축/대형구조물의 안전관리를 위한 최신 기술 개발 현황
박기태·신현섭·김병철·김래헌·황지헌

P-018 고성능 Weigh-In-Motion 시스템의 성능검증 시험
남진원·김종우·김호진·김 욱

P-019 고속도로 교량 RC 바닥판의 손상특성 분석
전준창·이일근·박창호·배동조·이희헌

P-020 고속도로 교량 콘크리트 부재의 염화물함유량과 중성화 분석
이수현·이일근·박창호

P-021 고속도로 교량의 부재별 유지관리비용 분석
장동휘·박창호·이일근

P-022 공용중인 장대교량의 상시 계측을 통한 구조 감쇠비 산정
이덕근·김인호·유동우·홍성수·마상수

P-023 국내 대규모 암반깎기비탈면의 안전등급 변화에 미치는 요인 분석
박기덕·이종건·장범수

16

IoT기반 플랜트 배관진단 시스템 개발

Development of Plant Pipeline Diagnosis System Based on IoT(Internet of Things)

이용환* Lee, Young Hwan | 오정석** Oh, Jeong Seok | 박수열*** Park, Soo Yeol | 여금수**** Yeo, Keum Soo

Abstract

In this study, plant pipeline diagnosis system based on IoT(Internet of Things)was developed. The system consists of three parts : sensor system, omnicube system and pipeline safety assessment solutions. The plant pipeline diagnosis system was constructed in plant pipeline and was validated field applicability. Plant pipeline diagnosis system based on IoT is appropriate for plant pipeline safety monitoring.

1. 서 론

국내 플랜트 시설은 70년대에 집중적으로 설치되어 시설물의 노후화, 부식, 균열 등의 손상으로 인한 사고위험을 받고 있다. 최근에 빈번하게 발생하는 유해 화학물 노출사고, 폭발사고 등 대형사고로 인하여 플랜트 시설물의 주기적인 검사를 통한 유지보수 및 관리의 필요성이 증대되고 있으나, 현장 작업상황이 지속적으로 변화하고 있는 상황에서 24시간 안전관리에 대한 감시체계가 미흡한 현실이다. 플랜트 산업에서 배관시설은 주요 자원 및 생산물의 수송을 책임지는 핵심 시설물로 설계, 시공, 운전뿐만이 아니라 시간의 경과, 환경의 변화에 따른 성능의 저하를 검사하고 진단하여 설비의 건전성을 확보할 필요가 있으며, 이를 위한 검사 및 진단기술의 개발, 첨단 센싱 및 통신기술이 적용된 진단시스템 도입이 반드시 필요하다.

기존의 플랜트 배관 진단은 인력에 의한 육안검사, 단편적 계측을 통해 수행되어 배관 안전을 상시적으로 감시할 수 없어 현재 운영 상태에 대한 배관 건전성을 정확히 평가할 수 없다. 또한 인력에 의한 수동적 검사에 따른 비효율성, 인건비 및 고가의 계측장비 사용료 등의 고비용 문제 등을 초래한다. 따라서 배관 시설물의 안전성을 상시적으로 정확히 평가하여 배관 손상으로 인한 사고발생을 미연에 방지할 수 있는 저비용, 고효율의 배관진단 시스템 개발 및 현장 도입이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 최신의 지능형 무선통신 네트워크 기술인 IoT(Internet of Things : 사물인터넷)기술을 적용한 플랜트 배관진단 시스템을 개발하였다. 개발 된 시스템은 배관 안전모니터링 센싱 기술, 배관 진단전용 IoT 무선 네트워킹 시스템 내장형 옴니큐브 시스템, 배관안전성 평가 솔루션으로 구성된다. 개발된 시스템은 플랜트 배관 1개소를 선정하여 테스트베드를 구축하고 시험운영을 통해 현장 적용성을 검증하였다.

* (주)한국플랜트관리 과장, 정회원
** 가스안전연구원 안전연구실 책임연구원
*** (주)한국플랜트관리 대표이사, 정회원
**** (주)한국플랜트관리 대리

2. IoT기반 플랜트 배관진단 시스템

2.1 플랜트 배관안전 위험요소 분석

플랜트 배관안전 평가 및 상시 모니터링을 위해 배관안전을 직접적으로 위협하고 있는 위험요소를 분석하고 배관 안전을 유지하기 위한 모니터링 항목 및 센싱 항목을 선정하였다.

배관 건전성 평가 시 필수적으로 고려해야 되는 인자로 진동이 있다. 배관 진동은 배관 내부 압력과 배관에 작용하는 풍하중 및 주위 교통 증차량 등에 의해 유발되어 전달되는 진동하중 등으로 복합적으로 발생한다. 진동은 배관이 고정된 지점에 과도하중으로 작용하여 배관 안전 위협요소로 작용할 뿐만 아니라 배관을 지지하고 있는 파이프랙 구조물까지 배관 진동이 전달되어 장기적으로 플랜트 시설물의 전역적인 건전성이 위협받을 수 있다. 또한 배관은 강구조의 재료특성으로 인해 온도에 의한 인장, 압축 현상이 주기적으로 반복되며 이것은 구조물의 변형 및 지점의 응력집중 현상 등을 초래한다.

진동 및 온도, 응력집중 등의 인자는 배관에 복합적으로 상시 작용하고 있으며 이는 배관 시설에 피로하중으로 작용하여 플랜트 시설의 수명을 단축시키는 결과를 초래할 수 있을 뿐만 아니라 피로파괴에 의한 예상치 못한 사고 발생의 위험이 있다. 따라서 배관 안전을 유지하기 위해 배관에 발생하는 진동, 온도에 따른 배관 변형 등을 필수적으로 모니터링 해야 한다.

Table 1. 플랜트 배관안전 위험요소 및 모니터링 항목

외력	위험 요소	모니터링 항목	적용 센서
작용 활하중	배관 진동	배관 발생 진동	가속도센서
온도변화	배관 부재 변형	배관부재 온도, 응력 변화	온도센서, 응력센서

2.2 IoT기반 플랜트 배관진단 시스템 개발

본 연구에서는 플랜트 배관 건전성을 상시 모니터링하고 안전성을 평가하기 위해 IoT기술을 적용한 플랜트 배관 진단 시스템을 개발하였다. IoT기반 배관 진단시스템은 배관 안전 센싱 기술, 플랜트 배관 진단전용 IoT 무선네트워킹 시스템 내장형 옴니큐브 시스템, 배관 안전성 평가 솔루션으로 구성된다.



(a) 배관안전 센싱 (b) 옴니큐브 시스템 (c) 진단 평가 솔루션

Fig. 1 IoT 플랜트 배관진단 시스템

배관 안전 센싱 기술은 Table 1에 요약한 바와 같이 배관 안전을 직접적으로 위협하는 인자인 진동 및 부재 변형을 상시 모니터링 할 수 있는 센서로 구성되어 배관에 발생할 수 있는 손상을 감시한다.

플랜트 배관 진단용으로 개발된 옴니큐브 시스템은 IoT 시스템을 적용한 첨단 무선네트워킹 솔루션이다. 기존에 시설물 계측시스템으로 개발 시도된 Bluetooth, USN 등의 기술은 보안성 및 확장성이 취약할 뿐만 아니라 네트워크 인터페이스간의 통신 시스템으로 자동화된 산업시설물 진단 시스템에는 적합하지 않다. IoT 인터페이스는 정보 센싱, 추출, 저장, 판단, 인식, 미들

웨어 및 프로세스 관리 등을 모두 포함하는 기술로 이동통신망을 이용하여 사람과 사물, 사물과 사물 간 지능통신을 할 수 있는 M2M 개념을 인터넷으로 확장하여 현실과 가상세계의 모든 정보와 상호작용하는 첨단 IT기술이다. 본 연구에서 개발된 옴니큐브 시스템은 IoT기술을 기반으로 하여 배관 안전 센싱 데이터의 전송, 분석, 처리 등을 시스템 단계에서 자동으로 수행하여 계측 데이터 및 데이터 처리 결과를 시스템 관리자에게 전송한다. 개발된 옴니큐브 시스템의 주요기능은 Table 2에 요약하였다.

Table 2. 옴니큐브 시스템 주요기능 및 사양

구성요소	기능	사양
OmniCube	정보 취득	· 계측 채널 : 다중채널 · 샘플링 : 1Hz~ 1kHz · 동작 온도 : -20~60℃
OmniHub	센서 정보 취합, 처리 원격지 전송	· CPU : ARM9 400MHz · RAM : 32MB SDRAM · Interface : RS232, RS485 · Communication : USN, Wifi, LTE · Service : TCP/IP, UDP · 동작 온도 : -20~85℃

배관안전성 평가 솔루션은 현장에서 서버로 전송된 데이터를 DB화하여 관리하고 내장된 배관 안전 평가 알고리즘을 통해 배관 안전성 평가 결과 및 배관 안전 정보를 상시 제공한다.

3. IoT기반 배관진단 시스템 현장 적용성 검증

IoT기반 배관진단 시스템의 현장 적용성 검증을 위해 플랜트 배관 1개소를 선정하여 테스트베드를 구축하고 시험 운영을 수행하였다. 테스트베드 배관은 지상에 노출되어 있는 구조로 관경 250Φ의 증압가스를 이송하는 배관이다. 배관은 5m간격의 지지대에 의해 지지되고 10m간격의 루프로 구속되어있으며 루프와 루프사이에는 롤러 형태의 수직 지지대가 받치고 있다. 대상 배관의 현황은 Fig.2에 나타내었다. 테스트베드에 구축된 배관진단 시스템은 Fig.3에 나타내었다. 배관에 작용하는 진동 전달 경로를 파악하고 배관 고유의 진동특성 추출을 위해 배관 지점부와 지점부 사이의 배관 중앙부에 각각 진동센서를 설치하였다. 배관 온도 변화에 따른 배관 변형을 모니터링하기 위해 응력집중현상이 가장 크게 나타날 것으로 예상되는 배관구속 지점에 온도센서 및 응력센서를 설치하였다. 테스트베드에 구축한 IoT배관 진단 시스템은 Fig.3에 나타내었다. 옴니큐브 시스템을 통해 무선으로 센싱 정보를 취득하고 LTE망을 활용하여 원격지 서버로 전송한다. 시스템의 전원공급 시스템은 50W급 태양광 발전 시스템을 적용하였다.

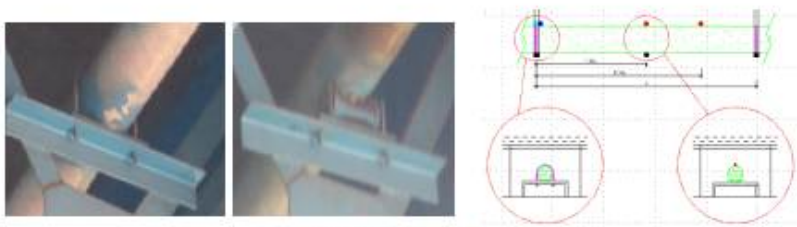


Fig. 2 배관 현황



(a)배관 센서 시스템 (b)옴니큐브 시스템

Fig. 3 IoT 배관진단 시스템 구축 현황

Fig.4는 계측데이터 중 진동 데이터 예를 나타내었고 Fig5는 계측된 온도 및 응력 데이터의 분석 결과를 나타내었다. Fig5(a)는 기상청 온도 데이터와 배관진단 시스템의 온도 데이터 비교분석 결과이다. 배관진단 시스템의 온도 데이터는 배관 부재 온도로 기상청의 대기온도 데이터와 측정값은 다르지만 변형형상이 비슷한 양상을 보이고 있다. Fig.5(b)는 부재온도 및 응력의 상관관계를 분석한 결과로 온도 변화에 따른 부재 응력변화가 비슷한 양상을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 데이터 분석 결과를 통해 본 연구에서 개발된 IoT 배관진단 시스템은 플랜트 배관 안전을 상시 감시하기 위한 시스템으로의 현장 적용이 가능하다고 판단된다.

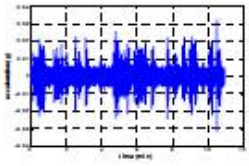
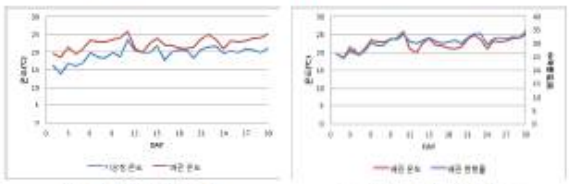


Fig. 4 계측 진동 데이터 예



(b) 온도데이터 비교분석 (기상청 vs 배관진단 시스템) (c) 온도-응력 상관분석

Fig. 5 데이터 분석 결과

4. 결 론

본 연구에서는 플랜트 배관의 건전성을 상시 감시하고 안전성을 평가하기 위해 IoT기반 배관진단 시스템을 개발하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 시스템은 배관에 작용하는 외력에 의해 전달되는 응답 신호에 정확하게 반응하고, 그 정보를 제공한다는 점에서 본 배관진단 시스템의 적용은 효과적이고, 적합하다고 판단된다.

(2) 배관 안전을 상시 모니터링 함으로써 배관 손상발생 시 능동적으로 대처할 수 있다.

(3) 추가 연구를 통해 모바일 관제 및 경보 시스템, 영상모니터링, 건전도 평가 자동화 알고리즘 등을 적용하여 플랜트 배관 안전 통합 솔루션으로 확장할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 본 연구는 국토해양부에서 지원하는 건설교통기술촉진연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 정지은, 송병훈, 이형수 "차세대 USN기반의 스마트 플랜트안전 프레임워크 개발", 정보통신설비학회 논문집, 제9권, 제3호, 2010

3. 시험성적서 3건

가. 한국산업기술시험원(KTL) 인증



ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 13-007905-01-1

총 6 페이지 중 1 페이지

시 험 성 적 서

1.신청자

회사명 : (주)한국플랜트관리

주 소 : 서울특별시 서초구 서초대로 254, 1012 (서초동 1553-5 오퓨런스10층)

2.시험품

품 명 : Omni Cube

모델/형식 : OmniCube-D01

제 조 자 : (주)한국플랜트관리

3. 시험규격/방법 : 신청자가 제시한 시험방법

4. 시험 결과 : 시험결과요약(2페이지) 참조

5. 성적서 용도 : 제출용

6. 접수 일자 : 2013년 02월 25일

7. 발급 일자 : 2013년 02월 26일

시 험 자 내환경평가센터 최용훈

승 인 자 내환경평가센터 정민호

본 성적서의 시험결과는 신청자로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 본원의 사전승인없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

한국산업기술시험원장

경기도 안산시 상록구 해안로 723(우 426-901)
http://www.ktl.re.kr
FP204-01-02

Tel. : 031-500-0435
Fax. : 031-500-0459

● 시험결과요약

1 온도동작시험

(1) 시험품(AC/DC adapter 사용) 입력전원조건 : 상용 AC 220 V

(2) 단계 1 : 시험품을 온도챔버에 설치

(3) 단계 2 : 온도챔버의 온도를 25 ℃로 1시간 유지

(4) 단계 3 : 단계 2의 종료 5분전 동작확인 실시

(5) 단계 4 : 1 ℃/분의 비율로 -30 ℃로 온도변화

(6) 단계 5 : 온도챔버의 온도를 -30 ℃로 1시간 유지

(7) 단계 6 : 단계 5의 종료 5분전 동작확인 실시

(8) 단계 7 : 1 ℃/분의 비율로 80 ℃로 온도변화

(9) 단계 8 : 온도챔버의 온도를 80 ℃로 1시간 유지

(10) 단계 9 : 단계 8의 종료 5분전 동작확인 실시

(11) 판정조건 : 동작확인 시 시험품은 function generator의 신호를 받아 동작확인 프로그램에 신호 파형을 표시할 것.

(12) 시험결과

- 시험기준으로 시험 완료

- 단계 3, 단계 6, 단계 9의 동작확인 시 시험품은 function generator의 신호를 받아 동작확인 프로그램에 신호 파형을 표시함.

(13) 판정결과 : 이상없음.

● 목 차

1 개요 ---------- 3
2 시험품 ---------- 3
3 시험기준 ---------- 4
4 시험결과 ---------- 4
5 시험사진 ---------- 5
6 시험데이터 ---------- 6
7 시험장비 ---------- 6

※위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

1 개 요

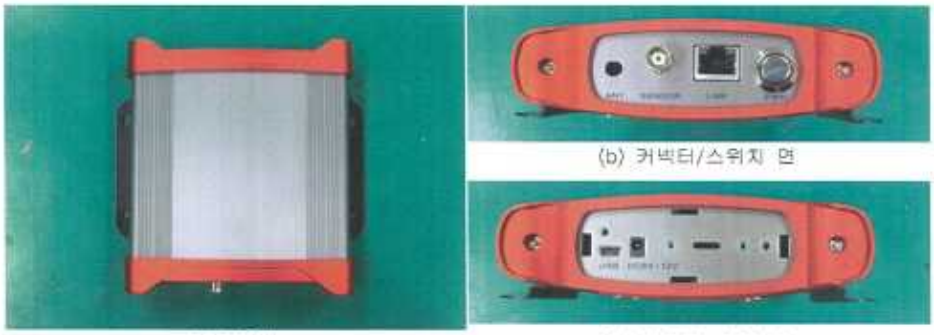
본 시험 성적서는 신청자가 제공한 Omni Cube(OmniCube-D01)에 신청자가 제시한 시험기준으로 시험을 실시한 결과이다.

2 시험품

2.1 시험품 구분

시험품명	시험항목	시험품 수
Omni Cube	온도 동작시험	1 SET

2.2 시험품 사진



(a) 윗면 (b) 커넥터/스위치 면 (c) 아답터 연결 면

사진 1 - Omni Cube(OmniCube-D01)

3 시험 기준

3.1 시험 환경

시험은 특별한 언급이 없는 한 다음의 시험 환경에서 시험을 실시한다.

(1) 온도 : 15 ℃~ 35 ℃

(2) 상대 습도 : 25 % R.H. ~ 85 % R.H.

(3) 대기압 : 86 ㎪~ 106 ㎪

3.2 온도동작시험

(1) 시험품(AC/DC adapter 사용) 입력전원조건 : 상용 AC 220 V

(2) 단계 1 : 시험품을 온도챔버에 설치

(3) 단계 2 : 온도챔버의 온도를 25 ℃로 1시간 유지

(4) 단계 3 : 단계 2의 종료 5분전 동작확인 실시

(5) 단계 4 : 1 ℃/분의 비율로 -30 ℃로 온도변화

(6) 단계 5 : 온도챔버의 온도를 -30 ℃로 1시간 유지

(7) 단계 6 : 단계 5의 종료 5분전 동작확인 실시

(8) 단계 7 : 1 ℃/분의 비율로 80 ℃로 온도변화

(9) 단계 8 : 온도챔버의 온도를 80 ℃로 1시간 유지

(10) 단계 9 : 단계 8의 종료 5분전 동작확인 실시

(11) 판정조건 : 동작확인 시 시험품은 function generator의 신호를 받아 동작확인 프로그램에 신호 파형을 표시할 것.

4 시험결과

4.1 온도동작시험

- 시험기준으로 시험 완료

- 단계 3, 단계 6, 단계 9의 동작확인 시 시험품은 function generator의 신호를 받아 동작확인 프로그램에 신호 파형을 표시함.

후위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

5 시험 사진

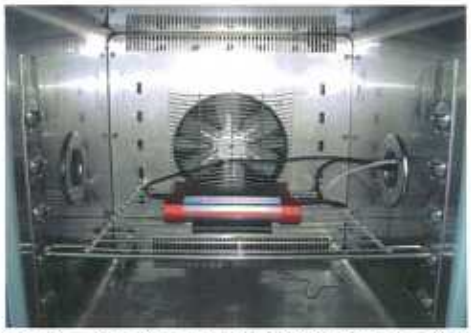


사진 2 - 온도챔버내 온도동작시험용 시험품 설치



사진 3 - 동작확인(25 ℃) - 단계 3

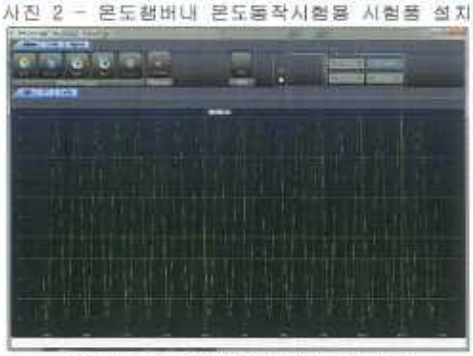


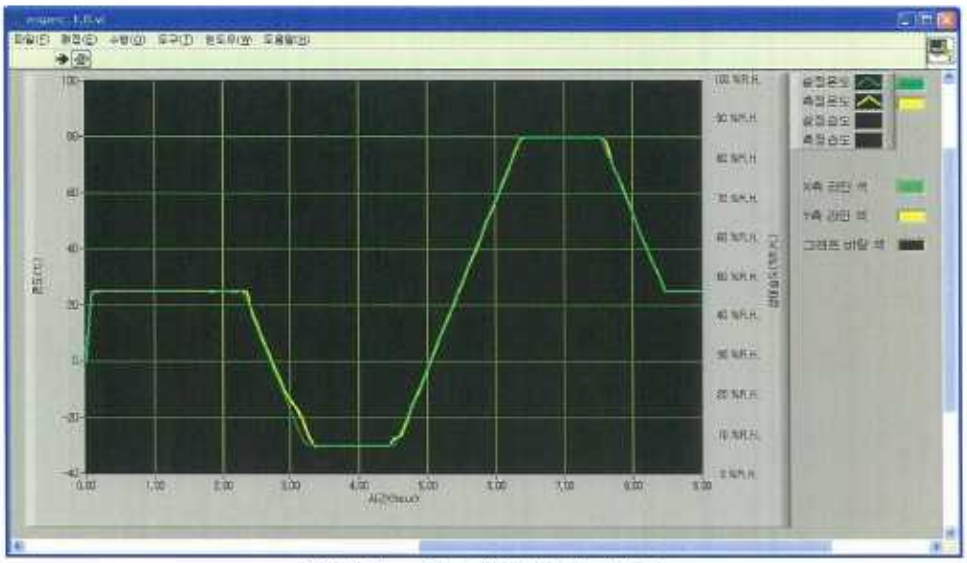
사진 4 - 동작확인(-30 ℃) - 단계 6



사진 5 - 동작확인(80 ℃) - 단계 9

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

6 시험 데이터



데이터 1 - 온도충격확인 온도 데이터

7 시험장비

시험장비	제조회사	모델명
온도챔버	ESPEC	SH-641
Function generator	Agilent	33220A

FP304-02-01

나. 한국산업기술시험원(KTL) 인증

시 험 성 적 서

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory
(우 157-718) 서울특별시 구로구 구로3동 222-13
(Tel: 02 860 1531, Fax: 02 860 1549)

성적서번호 : 13-048136-01
페이지 (1)/(총 2)

KOLAS

1. 의 뢰 자
- 기 관 명 : (주)한국플랜트관리
- 주 소 : 경기도 성남시 분당구 삼평동 DTC타워 102호
- 의뢰일자 : 2013. 11. 06

2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용

3. 시험대상품목
- 제 품 명 : 방폭 데이터로거
- 모 델 명 : OmniCube-Ex
- 제조자명 : (주)한국플랜트관리
- 제조번호 : -

4. 시험기간 : 2013. 11. 15 ~ 2013. 11. 18

5. 시험방법 : IEC 60529:2001, KS C IEC 60529:2006

6. 시험환경 : 21.3 ℃, 54 %RH, 86~106 KPa

7. 시험결과 : IP68 (뒷면 참조)

비 고 : 1. 위 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과이며,
2. 우리 원의 서면 동의 없이 전체 및 복사를 할 수 없습니다.

확 인	시험자 성 명 : 김 창 호 (서명)	기술책임자 성 명 : 강 준 구 (서명)

위 성적서는 국제시험소인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2013. 11. 19

한국산업기술시험원장 (인)

FP202-01-02

ktl 한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory
(우 157-718) 서울특별시 구로구 구로3동 222-13
(Tel: 02 860 1531, Fax: 02 860 1549)

KOLAS

시 험 결 과

외함의 밀폐 보호 등급 구분(IP Code)

1. 시험결과

코드문자	IP	시험조건 및 시험	결 과
제1특정수 외부 고체 물체의 침투에 대한 보호	6	1. 시험조건 1.1 시험용 활석분진의 표준체 와이어 공칭지름 : 50㎛ 1.2 시험용 활석분진의 표준체 와이어 간격 : 75㎛ 1.3 단위부피당 활석분진의 양 : 2 kg/m³ 2. 시험 2.1 시료의 내용적 : 약 630 ㎥ 2.2 시료의 내부압력 : -2.0 kPa(-200 mmH₂O) 2.3 시료의 공기 흡입량 : 0.0 LPM 2.4 시료의 내용적 대비 시간당 공기 흡입율 : 0 배 2.5 총시험시간 : 8 시간	적합
제2특정수 위험한 영향을 주는 물의 침투에 대한 보호	8	1. 시험조건 1.1 물속에 잠긴 시료의 가장 낮은 지점의 수위 : 1,200 ㎜ 1.2 물속에 잠긴 시료의 가장 높은 지점의수위: 1,090 ㎜ 1.3 수온과 시료의 온도차(5K 이내) : 2.0 K 2. 시험 2.1 시험 시간 : 3 시간	적합

2. 참고사항

(1) Size : W105 ㎜×H110 ㎜×D210 ㎜
(2) 정격 : DC 6~24 V, Battery 7.2 V/16,000 mAh

다. 전자부품연구원(KETI) 인증

KETI 전자부품연구원 Korea Electronics Technology Institute

시 험 성 적 서

발 행 번 호 : 2014-0435 F

회 사 명 : 비티컨설턴트(주)

시 료 명 : 데이터 계측장비

상기 사항은 본 연구원에서 실시한 시험성적서임을 증명함.

2014 년 07 월 23 일

전 자 부 품 연 구 원 장

본 시험성적서는 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과로써 시료명은 의뢰자가 제시한 것입니다.
본 시험분석은 단지 제품의 품질 및 신뢰성 향상을 위한 시험분석입니다. 이 성적서는 용도이외의
사용을 금하며, 의뢰자가 임의로 사용하여 발생되는 문제에 대해서 당 연구원은 책임지지 않습니다.

경기도 성남시 분당구 새나리로 25, Tel : 031)789-7298, Fax : 031) 789-7299 http://www.keti.re.kr/reliability

양식번호(B-17-01) 개정번호(19) 개정일(2011.10.12)

시 험 결 과

1.시험고객

회 사 명	비티컨설턴트(주)		
대 표 자	최인혁		
주 소	경기도 성남시 중원구 상대원동 3611-3 우림라이온스벨리 1차 502호		
신 청 자	홍동수	접 수 일	2014.07.17
시 료 명	데이터 계측장비	시 료 수	1개
시험성적서용도	개발품 성능 비교용		
총페이지 수	6 페이지(표지포함)		

2.시험조건 및 시험결과

시 험 항 목	계측정확도 시험			
시 험 방 법	고객제공			
시 험 결 과	세부시험내역 참조			
시 험 기 간	2014. 7. 17			
시험소 환경	온도	(25 ± 10) ℃	습도	75 % R.H. 이하
시험자(시험원)		승인자(기술책임자)		
김철희 (인)		이관훈 (인)		

세부 시험내역

1. 시험목적 : 개발제품의 성능 비교

2. 시료명 : 데이터 계측장비 (Model : 상용품(CR1000), 비교품(OMNI CUBE EX)



< 상용품 (CR1000) >



< 비교품(OMNI CUBE EX) >

3. 샘플링방법 : 의뢰업체에서 샘플링 하여 제공

4. 시험항목, 시험조건

시험항목	시 험 조 건	시료
계측정확도	- Full Range 정확도 평가 : 500 mV ~ 3000 mV 까지 500 mV 씩 증가 6단계로 단계별 5분씩 계측 - 미소 변화에 의한 정확도 평가 : 1510 mV ~ 1600 mV 까지 10 mV 씩 증가 10단계로 단계별 1분씩 계측	각 1개

5. 시험장비

① 계측 정확도 평가 :

DC전원공급기 E3638A (Agilent, 미국)




② 계측 정확도 평가 :

함수발생기 33220A (Agilent, 미국)




③ 데이터 계측용 S/W :

상용품 LoggerNet 3.4.1 (업체제공), 비교품 Omni Cube Program (자체제작)




6. 시험기간

① 계측 정확도 평가 : 2014. 07. 17.

7. 시험결과

① "Full Range 정확도 시험" 및 "미소 변화에 의한 정확도 평가"는 1초에 1회 측정하되 각 출력전압별 계측값의 평균 및 최대, 최소값으로 명기함

② Full Range 정확도 평가

- 상용품 (CR1000)

시험 / 출력전압(mV)	계측 전압 (mV)		
	최소값	최대값	평균
500	495	496	496
1000	995	996	996
1500	1494	1495	1494
2000	1993	1994	1994
2500	2492	2494	2493
3000	2992	2992	2992

- 비교품 (OMNI CUBE EX)

시험 / 출력전압(mV)	계측 전압 (mV)		
	최소값	최대값	평균
500	499	500	500
1000	998	1000	999
1500	1498	1499	1498
2000	1998	1998	1998
2500	2497	2498	2498
3000	2997	2998	2998

③ 미소 변화에 의한 정확도 평가

- 상용품 (CR1000)

시험 / 출력전압(mV)	계측 전압 (mV)		
	최소값	최대값	평균
1510	1504	1505	1504
1520	1515	1515	1515
1530	1524	1524	1524
1540	1534	1535	1535
1550	1544	1545	1545
1560	1554	1555	1554
1570	1564	1565	1565
1580	1574	1575	1574
1590	1584	1585	1585
1600	1595	1594	1595

- 비교품 (OMNI CUBE EX)

시험 / 출력전압(mV)	계측 전압 (mV)		
	최소값	최대값	평균
1510	1508	1508	1508
1520	1517	1518	1518
1530	1527	1528	1528
1540	1537	1538	1537
1550	1547	1548	1547
1560	1557	1558	1557
1570	1567	1568	1567
1580	1577	1578	1578
1590	1588	1589	1588
1600	1598	1599	1598

4. 시제품 1건

가. OMNI CUBE EX - DATALOGGER 제작



항목	Dynamic	Static
Measuring Channel	1-Channel	4-Channel
Measuring Range	±5V	
Current Consumption	150 ~ 190 mA	
Power Supply	9 ~ 12V	
ADC Resolution	고속 ADC 24bit(50Khz)	
Sampling Rate	100, 200, 128, 256, 512, 1024Hz	
Low Pass Filter	100, 500, 1000, 2000Hz	
Communication	ISA100, LTE	
Interface	TCP/IP, UDP	
SD Card	Micro SD(FAT32지원)	
RTC	정밀 RTC 내장(3 ~ 8ppm)	
Size	132mm(W) x 151mm(D) x 41mm(H)	
Operation Temperature	-20 ~ 65℃	
케이스 방폭 기준	EX d IIB T6 IP68	



<방폭 데이터로거 취급 설명서>



<방폭 데이터로거 사양서>

5. 품질인증 1건

가. 한국가스안전공사 안전인증(방폭인증)

제14-0195호

안 전 인 증 서

(주)한국플랜트관리

경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49

(코리아벤처타운업무시설B블럭 디티씨타워 102호)

위 사업장에서 제조하는 아래의 품목이 「산업안전보건법」 제34조 및 같은 법 시행규칙 제58조의4제4항에 따른 안전인증 심사 결과 안전·보건기준에 적합하므로 안전인증표시의 사용을 인증합니다.

품 목

방폭데이터로거(Explosion Proof Datalogger)

형식 · 모델 / 용량 · 등급 / 인증번호

형식·모델	용량 · 등급	인증번호
OmniCube-Ex-*-**	DC 6~24V Ex de IIC T6 IP68	14-GA2BO-0195X

인 증 기 준

방호장치 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2013-54호)

인 증 조 건

-20 ℃≤Tamb≤ +70 ℃, 뒷면 사용조건 참조

2014 년 05 월 07일

한국가스안전공사 사장

인 증 조 건

1. 제조공장:

경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49(코리아벤처타운입주시설 B블럭 디티씨타워 102호) ㈜한국플랜트관리"에서 제조하는 제품에 한함

2. 제품개요

본 제품은 내압안전증방폭구조의 방폭데이터로거(Explosion Proof Datalogger)로서 Main Body와 Body의 재질은 Cast Aluminium Alloy로 되어있으며, 폭발성분위기의 방폭지역에 설치되는 다목적 계측 전송기임

3. 인증범위:

OmniCube-Ex-*-**(DC 6~24V),IP68

4. 안전한 사용을 위한 조건

① -20 ℃≤Tamb≤ +70 ℃

② Main Body에 0.84MPa압력으로 시험 후 출고바람

③ 방호장치 안전인증고시(고용노동부고시 제2013-54호) 준수

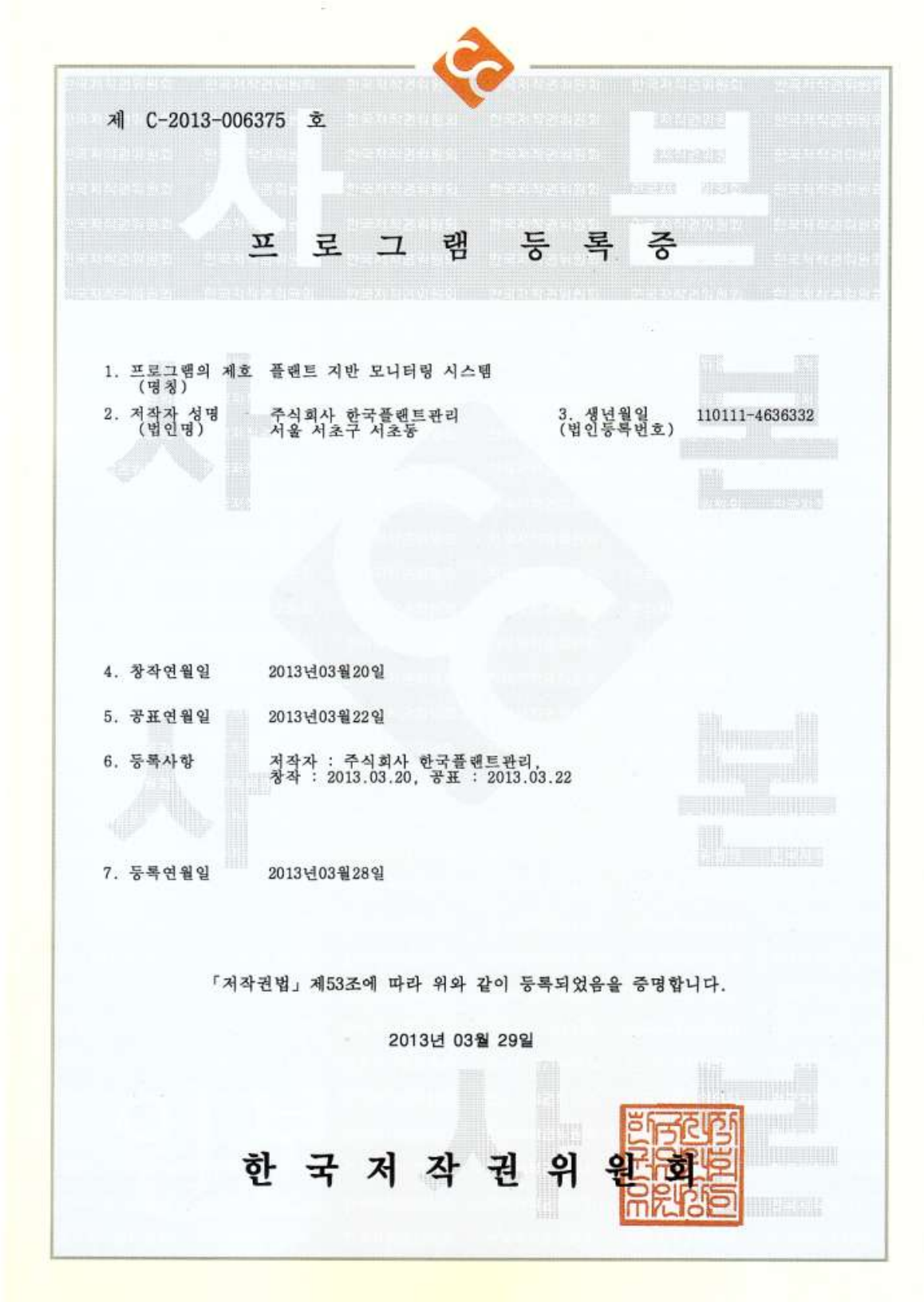
5. 인증(변경)사항

6. 그 밖의 사항

안전인증품의 품질관리, 확인심사 수검, 변경사항 신고 등 인증 받은 자의 의무 준수

6. 소프트웨어 1건

가. 한국저작권위원회 인증



제 C-2013-006375 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭) 플랜트 지반 모니터링 시스템

2. 저작자 성명 (법인명) 주식회사 한국플랜트관리
서울 서초구 서초동

3. 생년월일 (법인등록번호) 110111-4636332

4. 창작연월일 2013년03월20일

5. 공표연월일 2013년03월22일

6. 등록사항 저작자 : 주식회사 한국플랜트관리,
창작 : 2013.03.20, 공표 : 2013.03.22

7. 등록연월일 2013년03월28일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2013년 03월 29일

한 국 저 작 권 위 원 회

7. 데스트베드 구축 1건

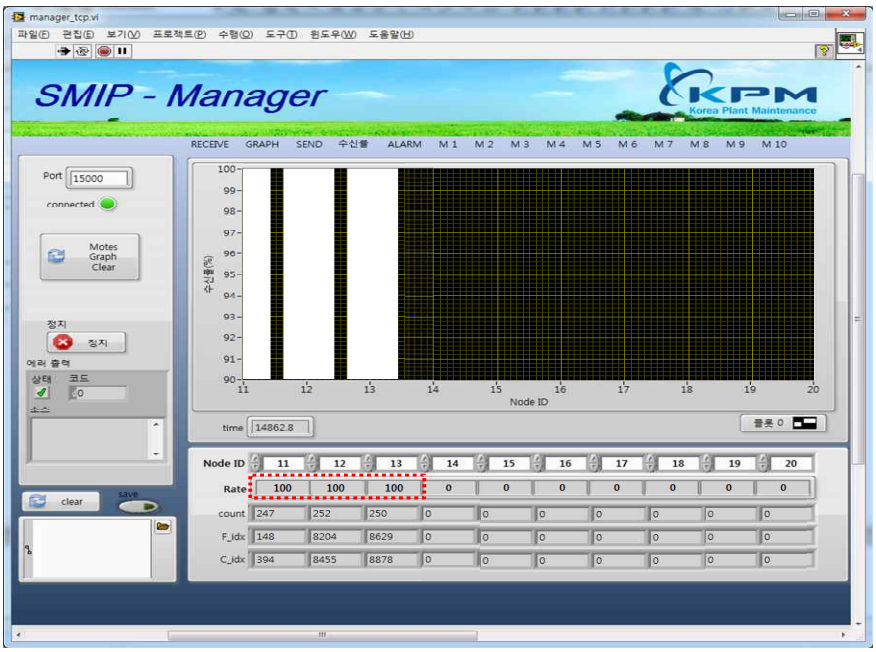
가. 여수석유화학단지에 구축

⇒ 여수국가산업단지 내 10-2구간 상부 구조물에 방폭형 무선 데이터 로거를 추가 설치하고 계측 성능 및 통신 성능 확인



< 여수산업단지 내 10-2구간 오버브릿지 방폭형 무선 데이터 로거 설치 >

⇒ 상부구조물에 설치된 방폭형 무선 데이터 로거의 계측 및 통신 성능 확인 결과 데이터 값이 누락 없이 100%의 수신률을 보임 .



< 방폭형 무선 데이터 로거 통신 수신률 확인 >

⇒ 지능형 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합 모니터링 시스템을 통해 구조물에 대한 실시간 모니터링 수행.



< 플랜트 시설물 안전 프레임워크 통합 모니터링 시스템 >

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.