

Considerations for the application of IoT technology to nuclear power plants

2024. 5. 10

한국원자력연구원 최유락, 여도엽

1. 원전 무선기술 고려사항

중점 고려사항

- EMC 규제
- 무선 센서 모듈의 성능
- 배터리

고려사항 1 - 규제와 표준

- EMC 문제

- RG 1.180에 따른 EPRI TR-102323 권고 방사성 전계 방출 기준
- 전계강도 제한 : $4\text{V/m} = 132\text{dB}\mu\text{V/m} = 27\text{dbm}$

- 원전 무선통신에 산업계 표준과 기술 적용

- SMR의 경제성을 위해 I&C 산업계 표준 기술 적용 필요 (IEC TR 63335 - 2021)
- 대형 원전에 IoT 무선통신 기술 적용 (EPRI DAS)

고려사항 2 – 무선통신 전송 거리와 전파 간섭

- 전송 거리

- 특정 거리를 만족하는 무선통신 필요
- 무선통신의 거리에 따른 무선 센서 grouping 관리

- 전파 간섭

- 전파 간섭으로 인한 데이터 손실
- **Multiband heterogeneous network**

고려사항 3 – 무선통신 프로토콜

- 감시 데이터 사이즈와 감시 주기 제한
 - 무선통신 프로토콜의 Pay load 고려
 - 최소 감시 주기 요구사항 만족 문제 고려

고려사항 4 – 무선기기 성능과 배터리

- 무선기기 성능

- 단순한 신호 수집과 전송 기능을 뛰어 넘는 스마트 센서 기능 필요

- 무선기기 성능 고도화에 따른 짧은 주기의 배터리 교체 문제

- 초저전력 무선 센싱과 신호처리

- 저전력 무선통신 프로토콜 적용

고려사항 5 – 연속 감시와 주기적 감시

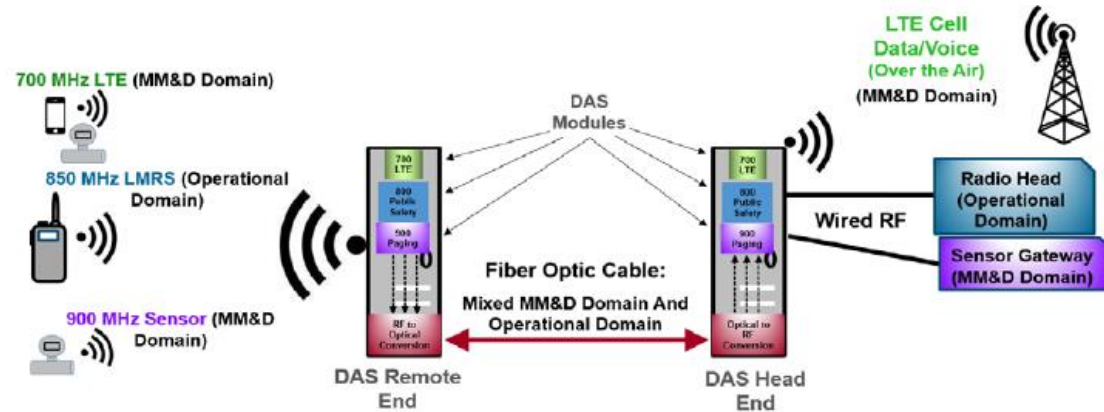
- 연속 감시 → 타임 도메인
- 주기적 감시 → 주파수 도메인
- 연속 감시를 주기적으로 수행하는 방식 : 배터리 문제 완화

2. 국내외 원전 무선통신 개발 현황

국외 EPRI DAS(Distributed Antenna System)

▪ DAS 통합망 주파수 대역의 유연성 및 무선센서 시험

대역	서비스 지원
433 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 저전력 저주파센서 (Zigbee)
750 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 음성통신 모바일 업무 관리 (태블릿 등 이용) LTE 및 LTE-M센서
900 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 비면허대역 센서 양방향 라디오
1900 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 음성 통신 (PCS)



- ISM 밴드 무선 센서 기술 지원

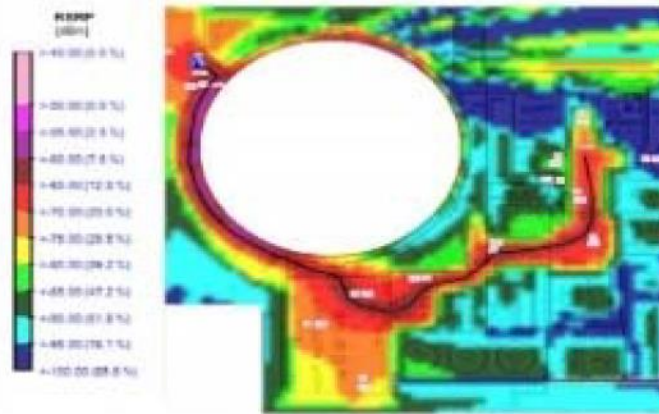
- 낮은 주파수 대역과 넓은 무선망 커버리지

- WiFi 지원 및 LTE와 결합

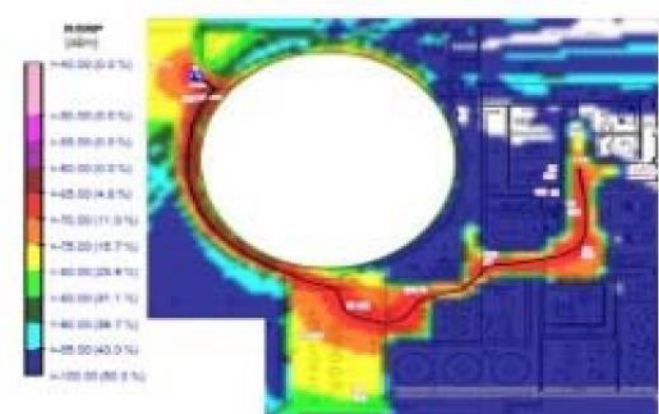
국외 Crystal River&Zion 원전 무선통신 인프라 구축



DAS 적용 구역도



700MHz LTE



2.4GHz WiFi

- 미국 Crystal River와 Zion 에서 DAS 시스템을 통해 Pilot 테스트 진행

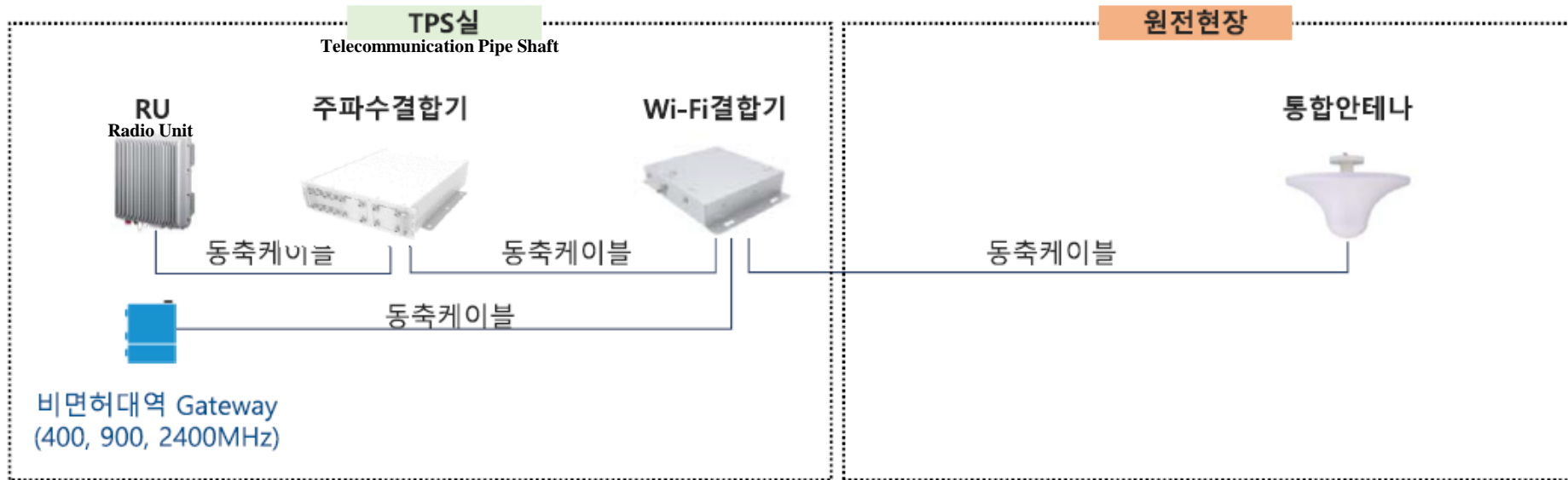
국내 원전 무선통신 인프라 구축

■ 원전 전용 무선통신 인프라 구축

- 페이징 폰과 이미지 전송을 위한 상층단의 무선 인프라
- 한빛 6호기 무선통신 인프라 시험 적용
- 새울34, 신고리56 건설 원전 무선통신 인프라 설계/제작/시공 구축 진행중
- 새울 1,2호기 가동원전 무선통신 인프라 구축 예정

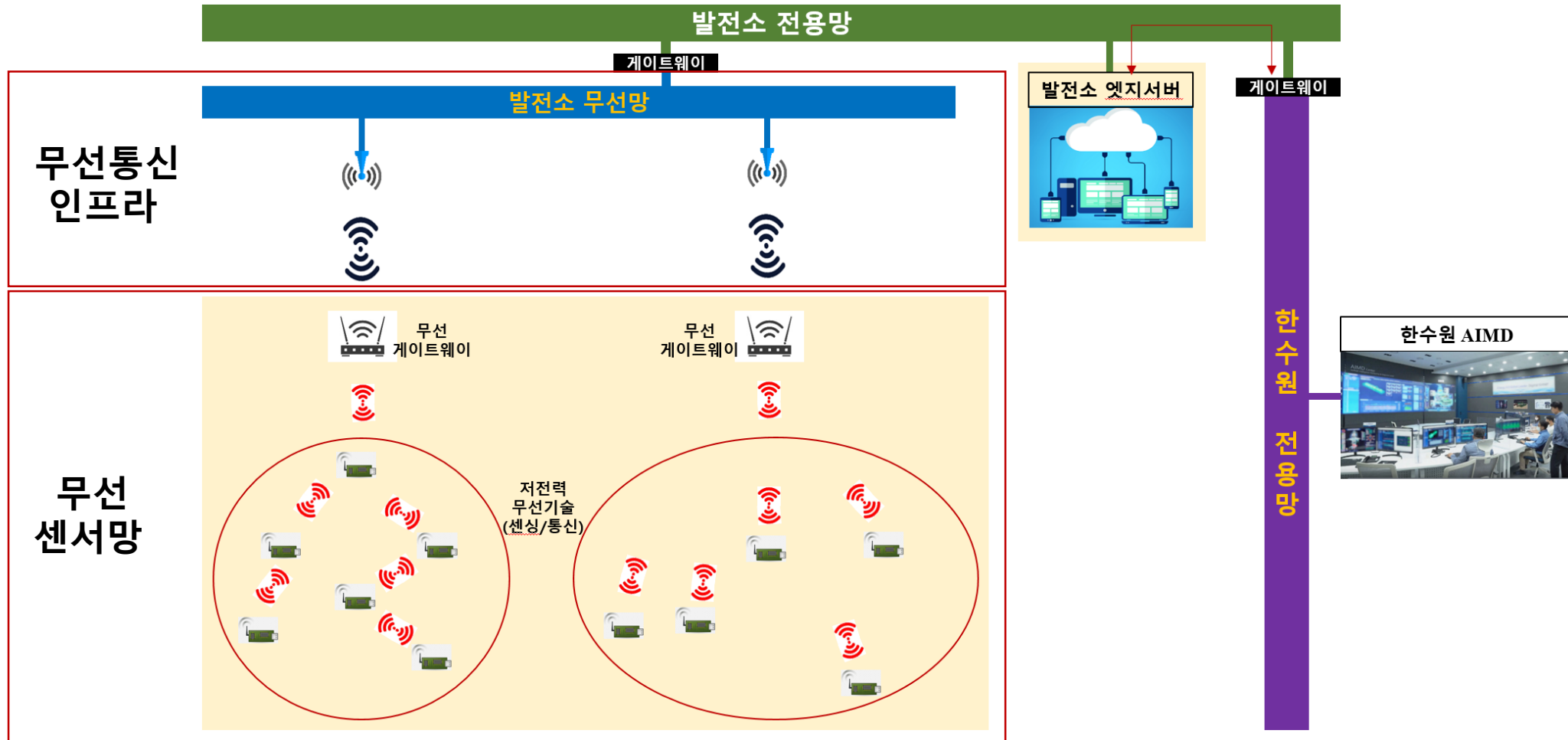
■ 무선 감시 기술과 연계 방안 필요

국내 신고리 5,6 건설 원전 무선통신 인프라 구축



- 700MHz LTE와 2.4GHz 무선신호를 주파수 결합기를 이용하여 하나의 안테나 서비스로 적용
- 향후 400MHz, 900MHz 등이 가능하도록 IoT 데이터 서비스용으로 구축
- 통합안테나는 400MHz ~ 2.4GHz까지의 RF 무선신호 수용

국내 원전 무선통신 기술 적용 방안 예상



3. 무선 통신 프로토콜

WirelessHart

- **IEEE 802.15.4 계열**

- 한빛 6호기 터빈 건물 내 회전체 진동 감시에 적용
- 2.4GHz ISM band
- TDMA(Time Division Multiple Access) : 10ms 타임 Slot 할당
- 이론상 최대 80개 정도의 무선 센서 관리
- 이론상 최대 225m 통신 거리
- 127 Bytes pay load / 최대 250 kbps 전송 속도 / 10 dbm 방사전계강도
- 유료

WiFi Halow

▪ IEEE 802.11ah 계열

- 917.5~923.5MHz ISM band

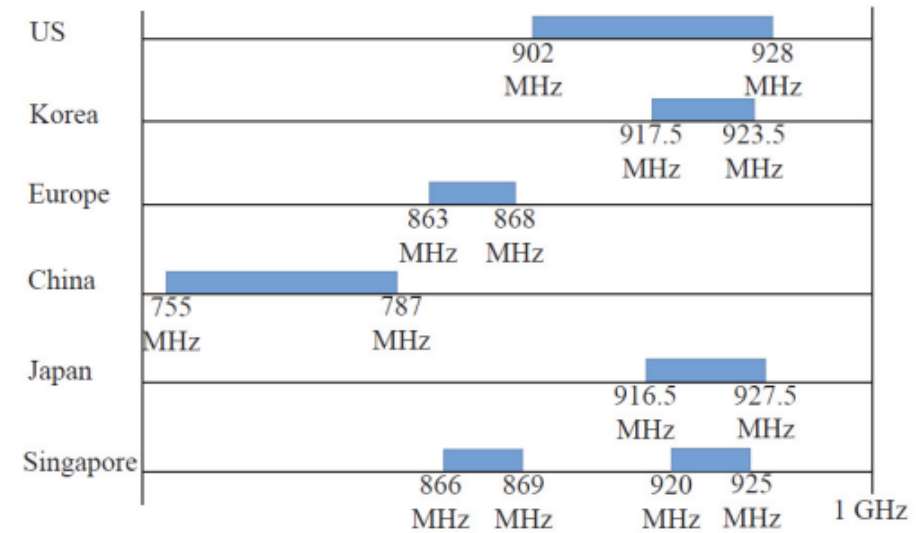
- CDMA(Code Division Multiple Access)

- WiFi(payload) + LoRA(distance)

- 이론상 약 8,000개 정도의 무선 센서 관리

- 이론상 최소 1,000m 통신 거리

- 2,034 Bytes의 payload / 최대 150 kbps 전송 속도 / 18 dbm 방사전계강도

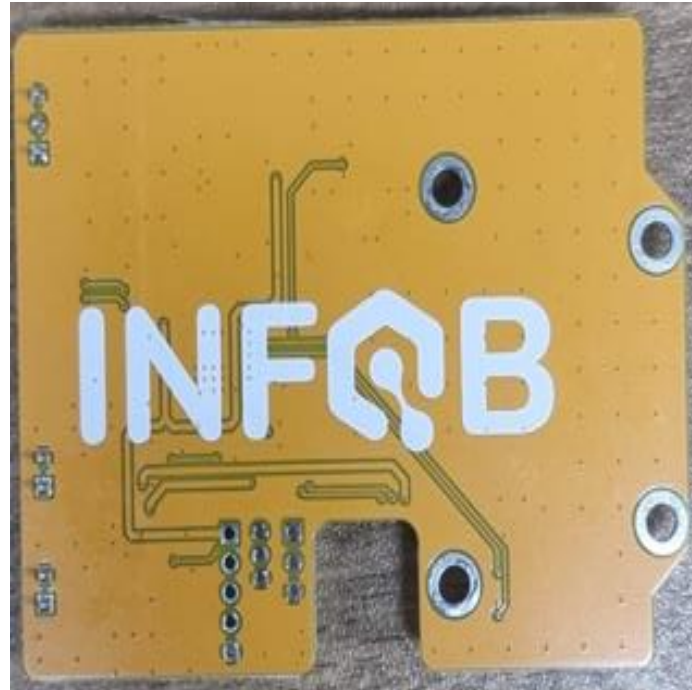


WirelessHart와 WiFi Halow 비교

	WirelessHART	WiFi Halow
목적	공정 산업	사물인터넷 (IoT)
핵심 특성	높은 신뢰도, 실시간 지원	장거리, 저전력
확장성	좋음	매우 좋음
간섭	많음	적음
데이터 속도	~250 kbps	~150 kbps
페이로드 (Payload)	최대 127 bytes	최대 2034 bytes
전송거리	~225 m	> 1000 m

4. 무선 통신 모듈 구현

Wireless Hart – 무선 단말용

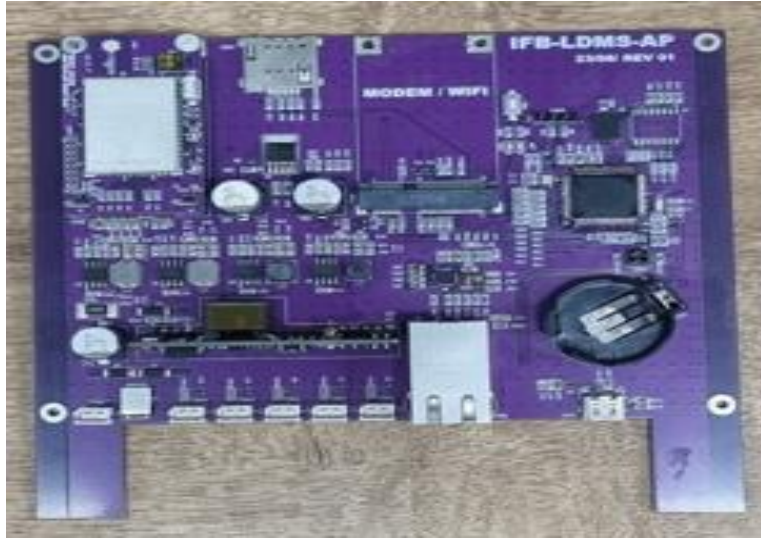


* Cento 사의 무선 모듈 적용 → Analog Device DC9007A로 변경 중

WiFi Halow – 무선 단말용



WiFi Halow – AP용



5. 스마트 무선 센서 구현

진동 감지 스마트 센서 – 타임 도메인

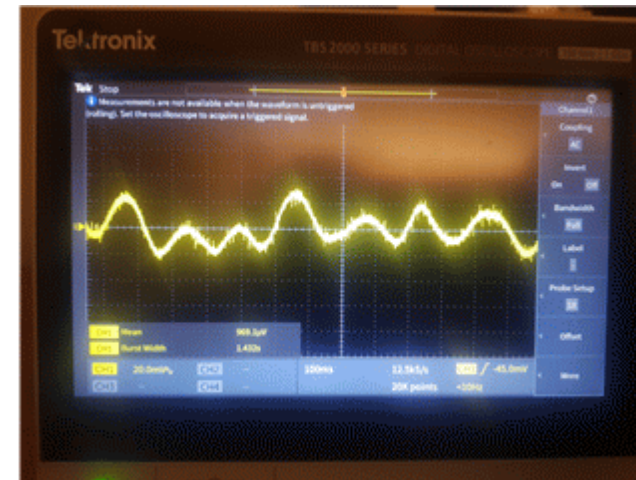
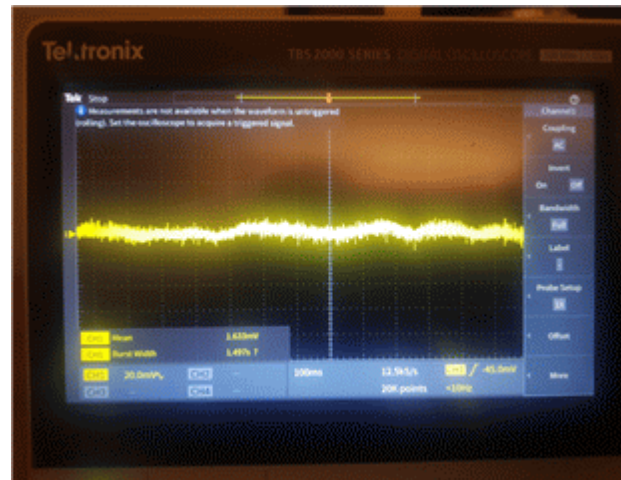


CWRU (Case Western Reserve University) Bearing Dataset

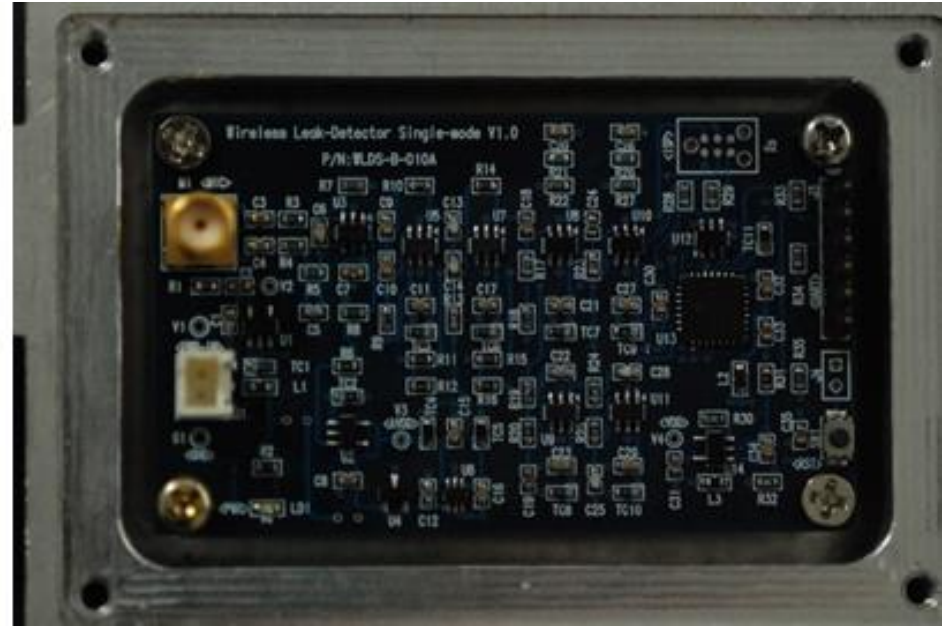
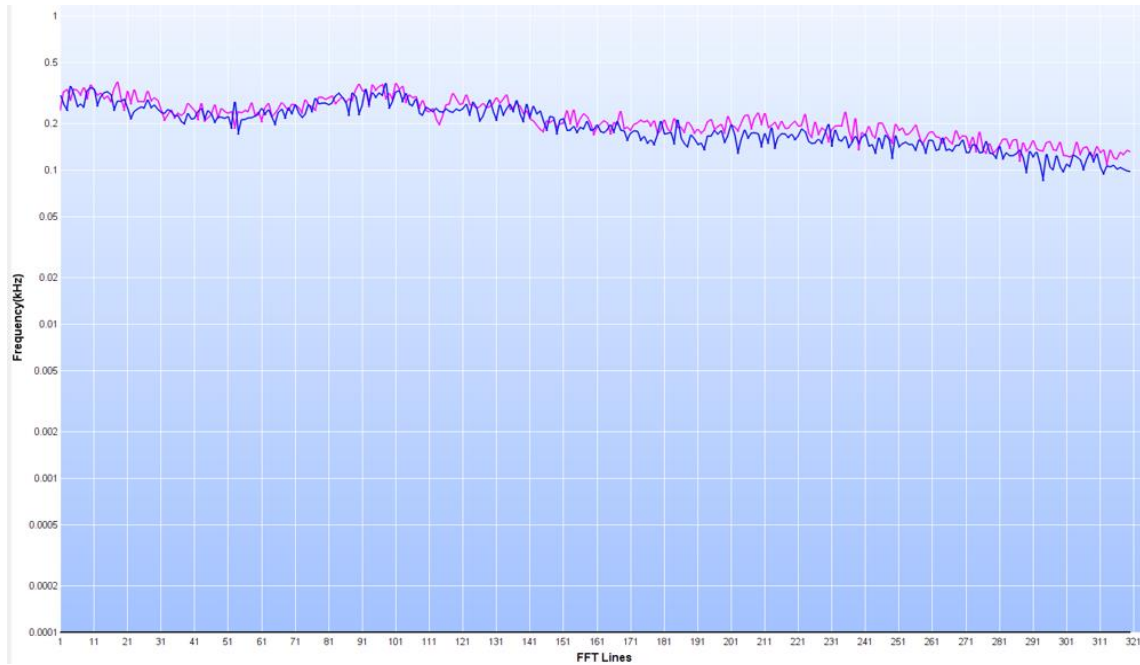
Normal state

(3000 ± 5 hz)

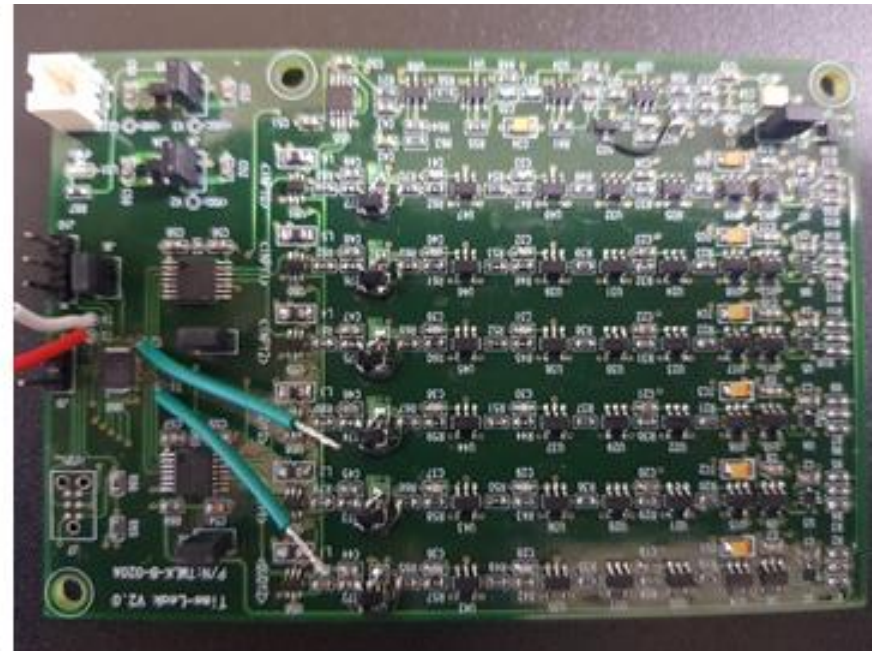
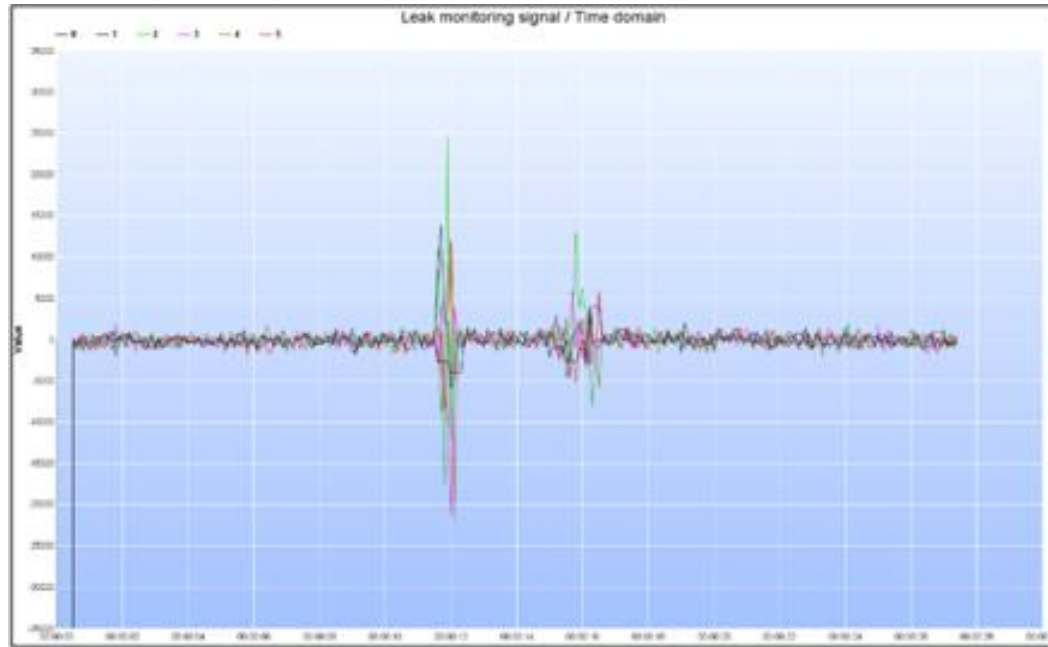
Defect state



누출 감지 스마트 센서 – 주파수 도메인



누출 감지 스마트 센서 – 타임 도메인



6 Ch



3 Ch



센싱 모듈과 무선통신 모듈 통합

- **One board 통합 진행 중**
 - 2개의 프로세서에서 1개의 프로세서로
 - 소비 전류 저감
 - 소형화