

2023년 KEPIC Week

원전 무선통신 EMI/RFI 대책

부서명 : 원전기기 안전센터
발표자 : 송이철
(icsong@kepco-enc.com)

2023. 9. 7

Table of Contents

[2023 KEPIC Week]
원전 무선통신 EMI/RFI 대책

1. 무선 통신망 구축
2. 미국 원전 무선망 적용 사례
3. 통제구역 (Exclusion Zone)
4. 무선통신 적용 이슈
5. 결론
6. 참고문헌

1. 무선 통신망 구축: 이점

● 안전성 강화

- 재난 상황에서 긴급 대처 능력 향상
- 자가 복구 기능 (**Self-Healing**)
- 전송 경로의 이중화
- 운전 인지 능력 향상
- 운전원의 mobility와 flexibility 증가
- 기존 유선 통신에 더하여 무선통신의 도입에 따른 다중성 및 다양성 증대

● 경제성

- 케이블 작업 불필요에 따른 설치 비용 절감
- 공간 절약

● 유지보수 효율성 제고

- 휴대용 분석기, 스마트 센서 및 무선 통신은 유지 보수 인력의 부담을 덜어주고 효율성 향상
- 태블릿 PC 이용 도면과 절차서의 확인
- 기기상태 점검 결과 태블릿 PC 입력
- 상당수 미국 원전에서는 안전필수 시스템을 제외한 모든 시스템에 대해 무선기술 등을 도입하여 비용절감 및 이용률 향상 도모
- 사용의 편의성, 휴대성
- 원격 운전감시

1. 무선 통신망 구축: 극복 과제

- 단점
 - EMI/RFI Impact
 - Cyber Security
 - 다중 또는 근접 무선통신 사이의 간섭
 - 통신 데이터 전송 지연
 - 접속 사각 지역 존재
 - 유무선 병행에 따른 비용
 - Lack of Regulatory Endorsement

- 인허가 시 기본 검토 사항
 - 네트워크 안전성
 - 중요 데이터 상실
 - RF 신호 커버리지
 - EMI/RFI 영향
 - Consensus practices
 - Reliable implementation

1. 무선 통신망 구축: EMI 사고 사례

- 무선통신 98년 8월 까지 미국 내 23개 원전에서 사고 경험
- 사고 원인
 - 전자파 민감 기기 인접지역에서 무선통신 사용
 - 제어반 door가 open된 상태에서 사용
 - 무선장치 제한구역 내 사용
 - 전자파 민감기기 인접지역에 증계기 설치
- 사고 결과
 - Transmitter 오동작에 기인한 원자로 정지
 - 소외전원 상실사고
 - 전자식 선량계의 오동작
 - 주제어실 비상 환기 계통 오동작

2. 미국 원전 무선망 적용 사례

- 비상 상황 시 유선 통화 지원
- 무선 크레인 운전 제어
- 무선 개인 방사선량 계기
- 시스템 운전 감시(열교환기, 밸브, Inlet water intake의 수위 및 수온, Spent Fuel Cake 의 온도 및 방사선량)
- 물리적 방호 목적을 위한 무선 영상감시
- 회전기 온도 및 진동
- 변압기 용존 가스 분석
- 물리적 방호 목적을 위한 무선 영상감시
- 임시 설치 무선계기로부터의 데이터 수집 및 관리(Ex. 격납건물 누설율 측정)
- 수조탱크 레벨 및 흐름 지시
- 기상상태(온도, 풍속, 습도)

ANO(Arkansas Nuclear One)

- 데이터통신:
 - **현장장비 교정 시 참조 정보 확인-하드카피자료불필요**
 - 현장 실시간 데이터 취득-유선망에 제공
- 감시 카메라: 계측기 지시계 감시
- 방사선 측정: 격납 건물 내부, 실시간 수치 태블릿 **PC** 확인 가능
- 설치 **AP** : 총**145**개
- 무선클라이언트: 약**200**개

Comanche Peak NPP

- 적용범위:

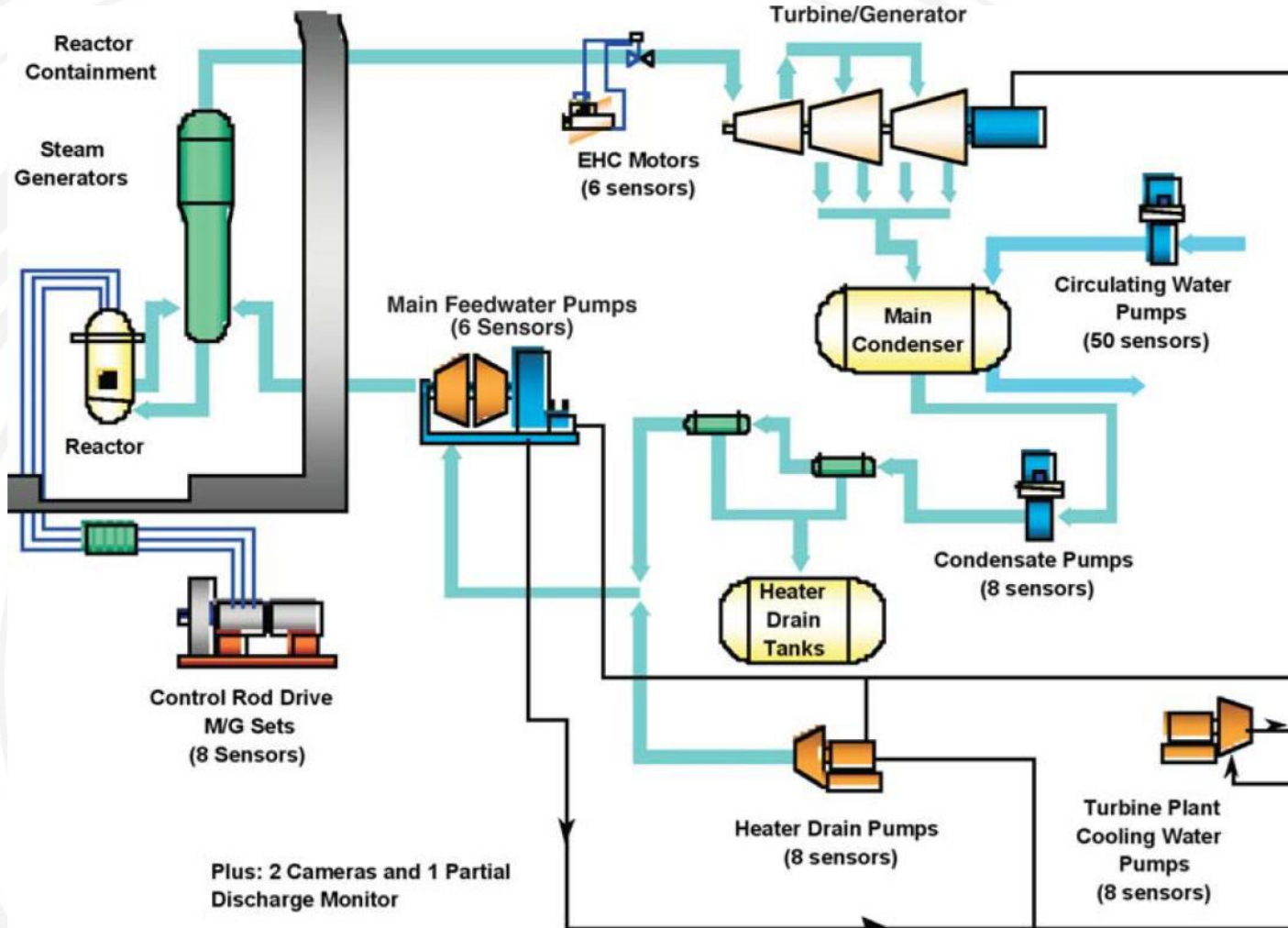
- 이동컴퓨팅, VoIP, 무선 통신 센서 등에 Wi-Fi를 공통 적용
- AP : **300여개 설치(격납 건물 포함)**
 - 격납건물 내부 원자로 인근은 정비 시에만 임시 설치 운용

- PMS에는 연결되지 않고, Plant LAN에만 연결됨

- 안전계통필수기기의 상태 감시에 적용(FSAR 개정)

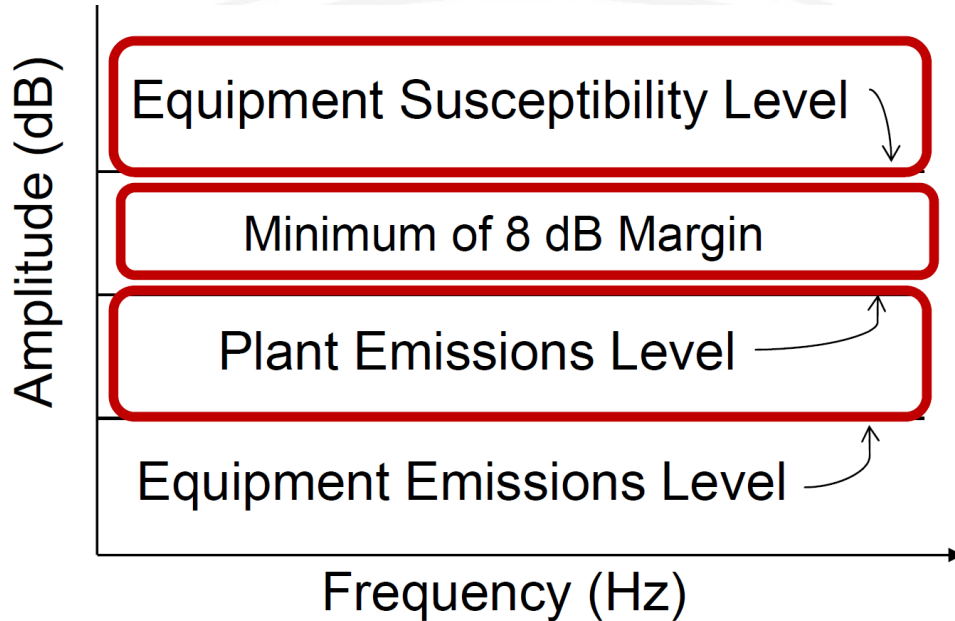
2. 미국 원전 무선망 적용 사례

Comanche Peak station



무선 진동 센서 위치
설비 내에 802.11 무선 LAN

3. 통제구역: RG 1.180(R1)



RG 1.180(R1)

- 안전관련 계측제어시스템이 설치된 지역에서
의 휴대용 EMI/RFI 방사체(예, 용접기 및
송수신기) 사용을 금지하기 위하여 행정통제
를 위한 통제구역(exclusion zone) 설정
- Exclusion Zone: 안전급 I&C 기기와 통신장
비 간의 이격거리로 정의
- 감응성과 방출 간 마진: 8dB
 - Susceptibility(RS103): 10V/m (140dB μ V/m)
 - Emission 세기(RE102): 4V/m(132dB μ V/m)

$$d = \frac{\sqrt{30PtGt}}{E} \text{ (m)}$$

P_t = 유효방사출력 (W), E = 허용 방출세기 (V/m)

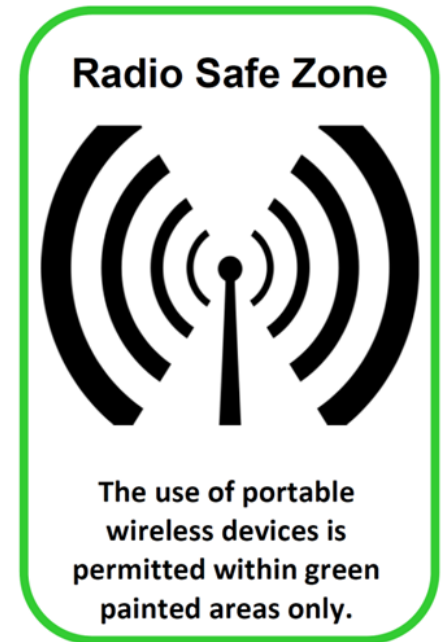
G_t = 이득(Gain); 의도하지 않은 송출기: 1 이하

의도적인 송출기(dipole antenna: 1.5, monopole antenna: 3, horn antenna: 6)

3. 통제구역: EPRI TR-102323(R4)

- 모바일 또는 통신 필요성이 있는 지역을 식별하여 발전소 룸을 평가
- “RF Safe Zone”과 보행경로를 식별하기 위해, 통행구역과 민감기기 및 관련 케이블 간 이격거리 **1m 이상** 유지해야 할 지역을 식별하고 발전소 룸 및 공간을 **walk down** 해야 함
- 이 평가는 “RF Safe Zone”과 보행경로로 수립된 지역과 공간을 식별하기 위해 발전소 도면을 이용하여 문서화하여야 함

- “RF Safe Zone” 지역에서의 이용을 익숙하게 하기 위해, 지정된 “RF Safe Zone” 지역을 관리하는 행정적인 절차를 유지
- 휴대용 RF 방출 장치의 이용과 관련된 제한사항에 대해 주기적으로 훈련되어야 함



3. 통제구역: EPRI TR-102323(R4)

고정형 무선장치 방출 관리 지침

Transmit Power (dBm)	Transmit Power (mW)	Antenna Gain (dBi)	EIRP (dBm)
27.3	533	0	27
24.2	266	3	27
21.3	134	6	27
18.3	67	9	27
15.3	34	12	27
12.3	17	15	27
9.29	8.5	18	27

- 최대 유효방사출력(EIRP): **27 dBm 이하**
- 안테나 최대 방사 출력: **533 mW 이하(gain 포함)**
- EIRP가 27 dBm 초과시, 문서화된 엔지니어링 평가
- 최소 이격거리: 1 m 이상

$$D = \frac{\sqrt{30 \times P_t \times G_t}}{E} \quad 1 = \frac{\sqrt{30 \times P_t \times G_t}}{4}$$

$$\text{dBi} = 10 \log_{10}(G_t) \rightarrow G_t = 10^{\text{dBi}/10} = 1 \rightarrow P_t = 533\text{mW}$$

$$G_t = 10^{3/10} = 1.998 \rightarrow P_t = 533 / 1.998 = 266\text{mW}$$

$$\text{dBm} = 10 \log_{10}(533) = 27.3\text{dBm}$$

3. 통제구역: 이격거리 계산

고정형 무선장치 방출 관리 지침(오니아테나)

802.01.05.00

TETRA indoor ceiling mount antenna



Frequency range	380-430MHz
Input impedance	50Ω
VSWR	<2.0:1
Maximum input power	50 Watts ⇒ 50mW
Polarisation	Vertical
Gain	2dBi
3 dB Beamwidth	Horizontal 360°
	Vertical 80°
Intermodulation IM3	-120dBm (2 x Tx @ 37dBm)

- dBi= 2
- $G = 10^{2/10} = 1.64$
- 유효 isotropic 방사출력(EIRP) = $0.05W \times 1.64 = 0.082$
- 이격거리 = $\frac{\sqrt{30 \times 0.082}}{4} = 0.39 \text{ m} \rightarrow 1 \text{ m}$

- **휴대용 무선장치 적용 지침**
 - **모바일 폰의 최대 출력(EIRP): 20 dBm 이하 [$<2V/m@1m$]**
 - **최대 방사 출력: 100 mW 이하 (안테나 gain 포함)**
 - **휴대용 무선장치는 인적 오류 가능성과 휴대성으로 인해 보수적인 레벨을 적용하여 2 V/m 값을 선택**
 - **최소 이격거리 = 1 m 이상**
 - **“RF Safe Zone” 라벨 부착 및 보행 경로 표식**
- **고정무선장치 권장 출력(27dBm)의 휴대용 무선장치 사용은 엔지니어링 평가 및 문서화를 통해 지원될 수 있음**
- **엔지니어링 평가는 민감기기와의 이격거리 유지를 평가**

3. 통제구역

SpectraLink 602X 무선 폰 방출 평가

- 무선 폰의 EIRP: 20dBm 이하로 제한 (EPRI TR-102323 Rev. 4 App. I)
- Spectralink 602X 무선 전화기의 최대 방출 출력은 **20.96dBm** 한도 초과
- 초과값 0.96 dBm 대처 방안?
 - 20.96dBm → 0.125W
 - 휴대장치와 민감기기 간 이격거리 유지

$$P(\text{watts}) = P_{(w)} = 1W \cdot 10^{(20.96/10)/1000} = 0.125 \text{ Watts}$$

$$d = (30PG)^{0.5} / V_d = (30 \times 0.125 \times 1.64)^{0.5} / 2$$

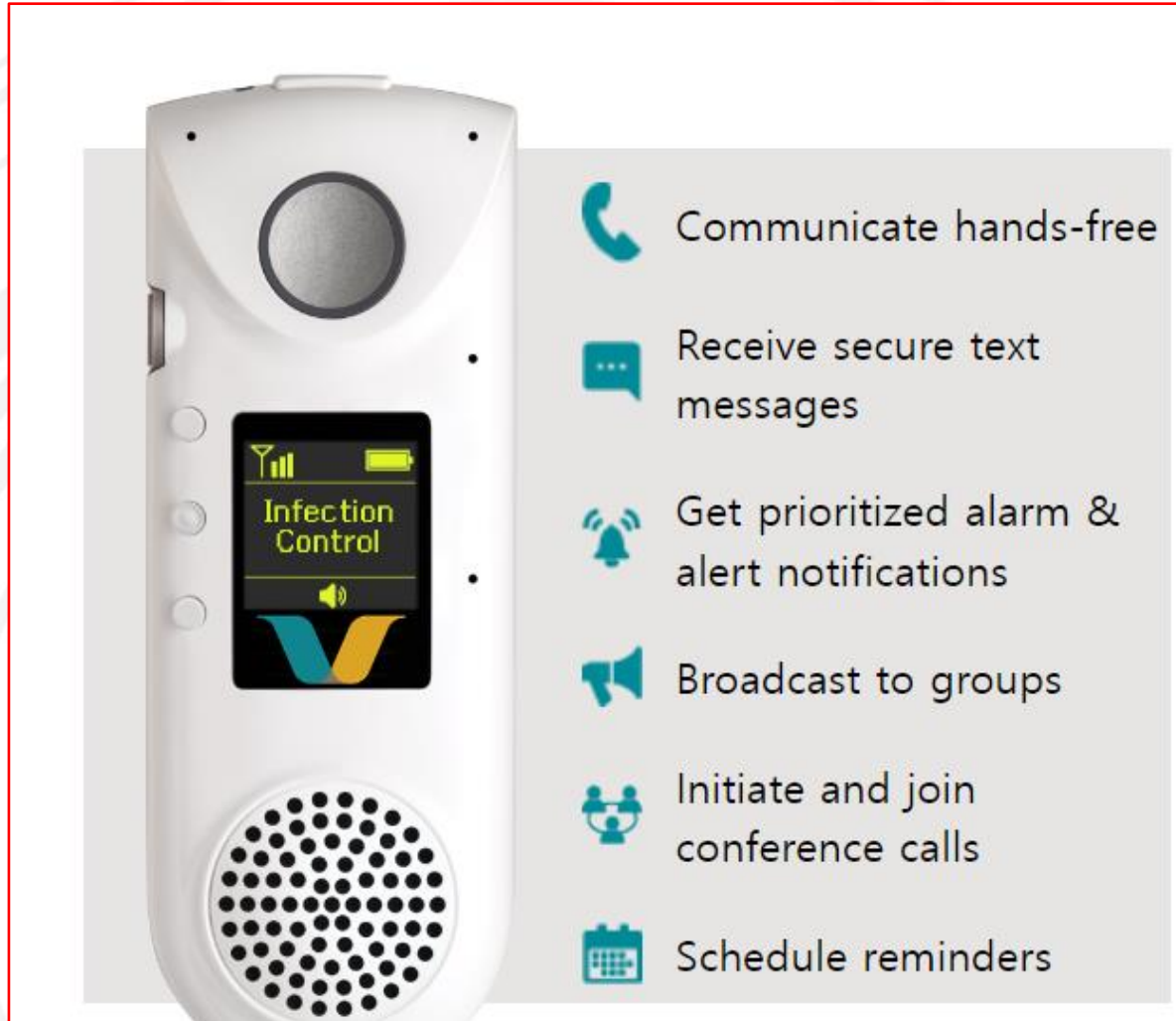
$$d = 1.24 \text{ meters}$$

4. 무선통신 적용 이슈: 1) 상용 휴대폰 적용

- 일반적인 Mobile Phone
 - 일반적으로 25~35 dBm
 - 35 dBm(10V/m@1m, 100V/m@10cm)

Model	주파수 (MHz)	Max Power		Field Strength (V/m) (@1.5 cm)
		dBm	W	
LG VS740	850	26.2	0.42	98.4
	1909	25.2	0.33	51.6
Palm P121UNA	837	23.1	0.20	236.3
	1907	22.0	0.16	92.0

4. 무선통신 적용 이슈 : 1) 상용 휴대폰 적용



Vocera B3000n Communication Badge

RF Output Power (5GHz):

16 dBm at 802.11, 802.11n

4. 무선통신 적용 이슈 : 2) Door Open 조건 이격거리

[INPO] 문이 개방된 계측기기로부터는 **20 feet(6.1m)** 이상 떨어져서 사용토록 하고 있음

[INPO] **0.75mW 무선전화기와 2 mW 무선전화기(Wireless Microphone)**

- NIS, SSPS 또는 7300 공정제어설비에 대한 정비나 교정 시 케비닛 문이 열려있으면 **6 feet(1.83m)**의 간격을 유지하도록 권고

미국원자력발전협회(Institute of Nuclear Power Operations, INPO)

4. 무선통신 적용 이슈: 3) 주제어실, 격납용기 내 무선설비 적용

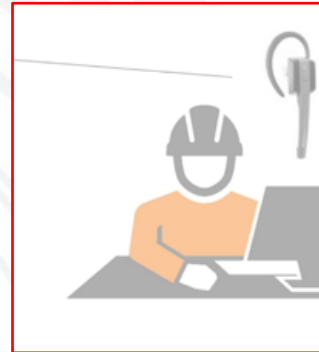
미국 원전 벤치마킹

Containment 건물 내에서는 Outage 시 Temporary로 안테나를 설치하고 사용후 모두 제거하여 보관하며, MCR내에는 Radio 시스템과 연계된 유선 및 Portable Antena를 이용하여 통신을 하고 있음

[INPO] 여러 미국 Fort Calhoun 원전 등 19 개 원전에서는 주제어실에서 무선통신을 제한
다만, 민감기기 시험근처에서 EMI Site Survey와 RF 감응성 결과를 반영하여 0.75mW,
2 mW 마이크로폰을 허용하고 있는 발전소도 있음



20 m



- NUREG/CR-6939 원자력 시설 환경에서 산업 무선 프로토콜의 공존성 평가
 - Wi-Fi, Zigbee 및 Bluetooth 무선 장치로 부터의 잠재적 간섭과 적합성 조사

미국 원전

- Radio System은 control room의 소음과 잡음에서 통화 어려움
- 따라서 급하게 연락을 취해야 할 경우에 사용을 하고 이후에는 유선 phone을 통해 통신
- Wi-Fi System 도입 시, Radio system의 단점을 보완할 수 있음.

[INPO] 여러 가지 무선장비(Remote Microphone, Ear-Canal Microphone, 소음제거 마이크 로폰이 부착된 Headset 및 기타 장비)를 사용해 보았지만, 정도의 차이가 있었을 뿐 최상의 장비는 아님.

비상디젤 발전기실에서 소음저감 통신방법과 저출력에서 **블루투스 기능이 있는 1.9 GHz** 휴대용 무선전화기(PCS Phone) 도입

4. 무선통신 적용 이슈 : 6) 이격거리 단축 방안

미국 원전 관리 지침

Portable Hand Held Radio's (8W), Cellular Phone (0.96W), and **Micro Cellular (1.6mW)**

D = Distance between antenna and equipment in meters

☞ Radio: 3.87 m, Cellular Phone: 1.34 m, **Micro Cellular : 5.4cm**

IEEE 7-4.3.2(2016)EMI/RFI 요건

안전 기기 제어 및 감시 비안전 기기는 지진 조건, EMI/RFI, 전력 서지 환경에 검증 요구

계측 안전등급 분류(KINS/RG-N08.01, 4.2)

계측등급-III

- 발전소 제어계통
- 발전소 상태감시 및 진단/전산/경보계통
- 화재감시 및 경보 설비/통신설비
- 방사성폐기물 및 사용후 핵연료처리 등의 계측제어설비

계측등급-III 정의

예상운전과도(AOO) 또는 사고 이후에 안전기능을 직접적으로 수행하지는 않지만, 그것의 잘못된 기능 또는 고장이 발전소 안전에 심각한 영향을 주는 계측제어계통

4. 무선통신 적용 이슈: 7) 보호 대상 민감기기

발전소-EPRI TR 102323(R2)

	Susceptibility Tests							Emissions Tests			
	Conducted		Radiated		Surge	EFT	ESD	Conducted		Radiated	
	Low-Freq.	High-Freq.	Low-Freq.	High-Freq.				Low-Freq.	High-Freq.	Low-Freq.	High-Freq.
Safety-Related	A	A	E	A	A	A	0	E	E	E	A
Important to Power Production	R	R	E	R	R	R	0	E	E	E	A
Non-Safety-Related	0	0	0	0	0	0	0	E	E	E	A

It applies to safety- and non-safety-related systems and components whose operation can affect safety related system or component functions and is recommended for those deemed important for power production.

all analog and digital electronic equipment with DC operating voltages (for example, 3-, 5-, 12-, and 15- VDC supply systems) or clock frequencies greater than 9 kHz.

EPRI TR 102323(R3)

	Susceptibility Tests								Emissions Tests			
	Conducted		Radiated		Surge	EFT	ESD	Conducted		Radiated		
	Low-Frequency	High-Frequency	Low-Frequency	High-Frequency				Low-Frequency	High-Frequency	Low-Frequency	High-Frequency	
Safety-Related	A	A	E	A	A	A	0	E	A	E	A	
Important to Power Production	R	R	E	R	R	R	0	E	A	E	A	
Non-Safety-Related	0	0	0	0	0	0	0	E	A	E	A	

4. 무선통신 적용 이슈: 7) 보호 대상 민감기기

원전 EMI/RFI 민감 현장기기

- EMI/RFI 민감장치는 일반적으로 신호 레벨이 낮고 임피던스가 높은 것이 특징
- **열전대**는 1도당 약 30uV를 생성합니다. 공정 온도의 변화. 일반적으로 노이즈는 10mV ~ 50mV 범위에서 발견. 3mV 노이즈가 신호 회로에 결합되면 100°F 오류가 발생. 이 회로는 공통 모드 잡음과 다른 접지 전위 유도 전류(접지 루프)에 취약함.
- **저항 온도 장치(RTD)**는 열전대보다 더 정확하며 차폐된 꼬인 3중 도체 케이블이 필요함.

4. 무선통신 적용 이슈: 8) 무선장비 사용제한 구역



- 주제어실, 격납건물 내, 계측제어기기실, **Cable spreading room**, CEDM MG set cabinet, **Transmitter** 설치 지역 등
- **RF감응성 미확보 민감기기 설치 구역**

규제위원회 정보 통지 83-83 “원자력 발전소 내 휴대용 송신기 사용”

EPRI 1022984 “원자력발전소의 전자기장해 사건의 평가

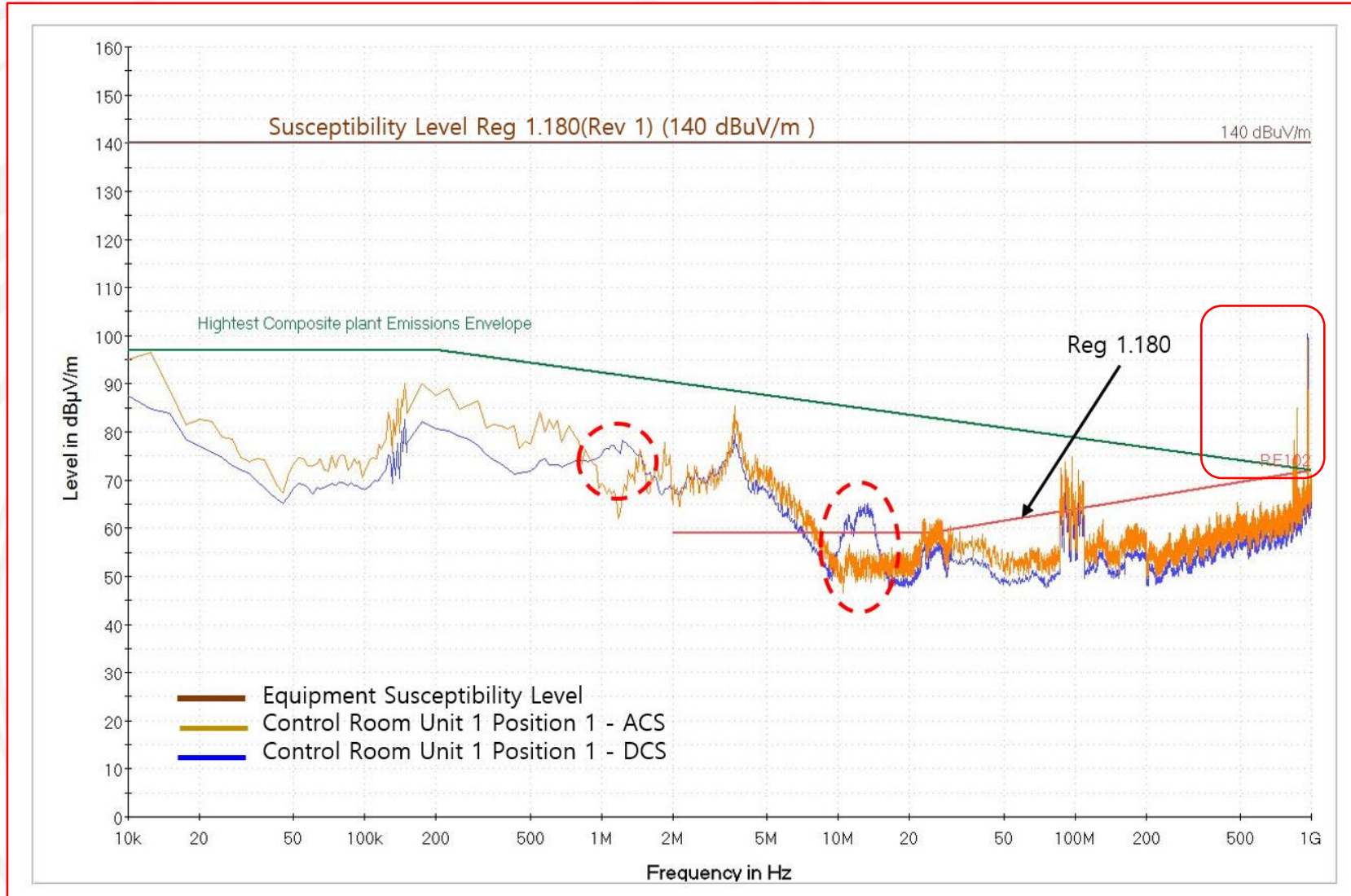
Based on MIL-STD 461 RS103
for frequencies of interest
(typically 400 MHz to 6 GHz)



- 주파수에 따라 달라지는 압력 전송기에서 확인된 취약성에 대한 몇 가지 시험 결과
 - 주파수가 2GHz 이상에 도달하면 송신기 출력에 의한 RF 필드의 영향이 거의 없음
 - 낮은 주파수에서는 송신기의 출력이 크게 벗어남
- RF 내성 미확보 기기 RF 내성 레벨 확보 방안
 - 현장에서의 RS103 시험 수행
 - 설치지역의 전자파환경(E3) 조사

4. 무선통신 적용 이슈: 9) 전자파환경(E3) 관리

Site Survey를 통한 RF 감응성 레벨 확보



KINS 질의사항

- KINS 규제지침 3.9 및 Reg. Guide 1.180에 따르면“**현장 장애를 일으킬 수 있는 어떤 독특한 EMI/RFI 발생원 존재여부를 파악하기 위하여 안전관련 계측제어계통 설치장소의 전자파 조건을 평가해야 한다.**”라고 되어 있다. 이에 따른 안전관련 계측제어계통 설치장소에 대한 전자파 평가 결과를 제시하시오.
- IAEA Specific Safety Guide No. SSG-25(2013), “Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants”의 5.39항에 따르면 기기검증 **검토에 전자파장애환경 조건을 검토하도록 권고하고 있다.** 또한, 5.77항에서는 전자파 또는 무선 주파수 장애를 내부 Hazard로 검토할 것을 권고하고 있다. IAEA SSG-25에 따른 전자파 장애 검토 결과를 제시하시오.

RG 1.180(R1)

- 안전 관련 I&C 시스템의 설치 지점에서 전자기 조건을 평가하여 국부 간섭을 생성할 수 있는 고유한 EMI/RFI 또는 전력 서지 소스를 식별

EPRI TR-102323

- 디지털 설비 개조를 정당화하기 위해 설치 지점 전자기 환경 조사를 권장
- 방사 환경을 특성화하기 위해 그룹은 제어실, 케이블 포설실, 터빈 데크, 개폐기실, 배터리실, 디젤 발전기실 및 원격 차단 패널 구역에서 데이터를 얻을 것을 권장
- 과도 현상을 포착할 것을 권장

미국 N 원전

- 30kVA 초과 신규 개폐 기기 또는 무선 시스템 도입 시 **EMI Mapping**이 요구됨
- 이 **mapping**은 특정 지역 또는 전체 발전소 포함

- 누적 전자파 방출량이 증가

- 구형 아날로그 I&C 기기에서 신형 디지털 기기로의 업그레이드, 빠른 처리 속도, 고속 데이터 통신 기기의 증가

- 아날로그 I&C 기기에서 디지털 I&C 기기로의 변경에 전자기 환경 악화

- 새로운 EMI가 정점에 도달하여 디지털 기기의 오동작을 발생 시키지 않도록 전자파 환경(E3) 관리를 추가 전자기 발생원 식별

- 디지털 업그레이드에 따른 EMI 방출이 **구역별 종합 최대방출 한도** 이내로 관리 필요

- EPRI는 **아날로그 I&C 시스템을 제거하기 전과 새로운 디지털 I&C 시스템 설치 후에 장기간 방출을 측정하여 전자기환경 변화 추이를 추적**

- 운전상태에서 10kHz~6GHz 전기장 및 20Hz~100kHz 자기장 방사방출 EMI 측정

- 구역별 전자파환경(E3)을 문서화하고 추적

EPRI 전자기 방출 자동화 측정 시스템

- **미국 EPRI는 EMI 방출 자동 측정 시스템을 개발**
- EMI 방출 자동 측정 시스템으로 일시적인 방출원이 존재할 수 있고 중요한 전자 장비의 심각한 오작동을 유발할 수 있는 중요한 지역에서 현장 조사 수행
- 10개 이상의 디지털 업그레이드 프로젝트에 대한 방출 데이터 수집
- 자동화 시스템은 현장 조사가 필요한 장소 또는 EMI 문제가 지속되는 기타 유형의 시설에서 방출원 현장 조사를 계속 수행하는 데 계속 사용됨
- 자동화 시스템의 이점은 기기 방출 EMI 데이터를 영구적으로 기록할 수 있어 추적 가능

전자기 방출 자동화 측정 시스템

- 미국 EPRI는 자동 방출 측정 시스템으로 조사자가 측정을 수행하는 방법을 프로그래밍
- **몇 분에서 일주일까지 총 조사 시간을 선택할 수 있음**
- 조사관은 " 시작 " 버튼을 클릭하고 액세스 패널을 닫고 캐비닛 도어를 잠글 수 있음
- 이 시스템의 프로그래밍 기능과 유연성을 통해 조사관은 고객 그래픽 사용자 인터페이스를 사용하여 방출 측정 시작 및 중지 시기를 지정할 수 있음
- EMI 조사관은 특정 주파수 대역에서 소요되는 시간과 특정 EMI 진폭 이상만 기록하도록 사용자 설정이 가능
- 시스템 프로그램에는 또한 데이터 분석 패키지가 포함되어 있어, **조사관이 데이터에 대한 통계 분석을 수행하고, 기록 된 데이터에 대한 히스토그램 분석도 가능**
- 방출 분석을 위해 EMI 방출 데이터에서 알고리즘 연산 수행
- 데이터 분석 알고리즘을 통해 방대한 EMI 데이터 최적화 구현
- 방출 데이터를 검토해야 할 경우 스윕을 실시간으로 기록하고 화면에서 재생

- IEEE 473의 권장사항을 준수하고 불규칙적인 노이즈 소스를 관측하기 위해서는 장시간 관측이 필요(최소 20일)) (출처: NUREG/CR-6436)
 - 30분 현장 검사에서 중요 EMI/RFI 이벤트를 관찰할 확률 : 0.003
 - 95% 확률로 1회 이상 중요 EMI/RFI 이벤트 관측에 필요한 검사 횟수: 998회
 - 소요시간 998회*30분 = 499시간(20일)

전자파환경(E3) 관리 시스템

- 안전성 강화, 경제성, 유지보수 효율성 제고를 위해 무선 시스템의 원전 적용 확대 필요
- 무선기술은 새로운 가능성과 기회를 제공하지만 발전소 트립 및 오작동을 방지하기 위해 EMI 방출 관리가 필요
- 주제어실, 격납용기 내부에 사용, 도어 개방 시 통신, 발전소 공간 활용 제고를 위해 Micro Cellular (1.6mW) 적용 고려(민감기기에 5.4cm 까지 접근 가능)
 - Micro Phone 사용을 위해 무선통신 대역의 전자기환경 변화 실증 필요
- 내성 시험 미수행 민감기기 설치 지역에 무선장비 사용 방안 강구 필요
 - RS103 감응성 현장 시험 수행
 - 무선통신 대역의 전자기환경을 측정하여 여기서 측정된 Highest Composite Emission Envelope를 기기 감응성레벨로 인정. 이 값을 기준으로 이격거리 유지
 - 구역별 Highest Composite Emission Envelope를 설정하고 무선통신 도입에 따른 환경변화를 장시간 측정하기 위해 “EMI 자동 측정 시스템” 도입 필요

- [1] Design Considerations for the Implementation of a Mobile IP Telephony System in a Nuclear Power Plant
- [2] CC-AA-103-1005 EVALUATING AND MITIGATING ELECTRICALLY INDUCED NOISE IN INSTRUMENTATION AND CONTROL CIRCUITS
- [3] 무선통신 기술의 원전 I&C 적용, NuPIC 2011, 2011, 이정권 KEPCO E&C
- [4] Wayne W. Manges, "Industrial Wireless Standards – Options and Integrating Strategies ", DOE Sensors & Automation Annual Portfolio Review, 2006
- [5] RG 1.180(R1) GUIDELINES FOR EVALUATING ELECTROMAGNETIC AND RADIO-FREQUENCY INTERFERENCE IN SAFETY-RELATED INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEMS, 2003년
- [6] EPRI TR-102323(R4) Guidelines for Electromagnetic Compatibility Testing of Power Plant Equipment
- [7] "Survey of Ambient Electromagnetic and Radio-Frequency Interference Levels in Nuclear Power Plants," NUREG/CR-6436 ORNL/TM-13171, Oak Ridge National Laboratory, (1996).
- [8] How EMI/RFI Site Surveys Can Improve The Digital Upgrade Process, Chad Kiger, Transactions of the American Nuclear Society, Vol. 118, Philadelphia, Pennsylvania, June 17–21, 2018