

차세대원전의 무선통신 적용에 대한 연구

지문구, 한성흠
한국전력공사 전력연구원

A study on the Wireless Communication System for Korean Next Generation Reactor

Mun-Goo Chi, Sung-heum Han
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - In this study, the wireless communication system configuration and major equipments for KNGR will be introduced. Also the reliability and safety impact on the KNGR will be checked by reviewing /testing the EMI/RFI conditions of wireless communication system. The elements of the wireless communication system are radio exchange, base stations, portable telephone handsets.

1. 서 론

기존의 발전소에서 활용되고 있는 통신설비들 가운데 Paging Phone은 일제 확성과 개별통화를 하기 위한 설비로 소음지역과 공명지역에서 난청이 발생하고 통화를 위해서 부스(Booth)를 설치하여 이용해야 하며, 음성력에 의한 통신 설비의 특성상 음성 인식이 잘 안 되는 등의 한계성이 있다. 또한 현 유선통신설비의 의사소통의 한계성은 발전소의 비정상 또는 비상상황 시 신속하게 대응에 어려움이 있어왔다. 따라서 무선통신설비를 발전소에 적용했을 때 발전소 운전원 및 보수원 각자에게 신뢰성 있는 통신수단으로 제공되어 운전의 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 국내의 원전운전 및 설계기술을 바탕으로 한전이 개발중인 1450MWe급 개량형 경수로로 현재 기본설계가 진행중인 차세대원전의 무선통신계통에 대해 통신계통의 구성, 통신방식 및 구성설비와 발전소 EMI/RFI(Electromagnetic Interface/Radio Frequency Interface) 영향 및 대책 등 차세대원전 무선통신계통의 설계기본개념을 기술한다.

2. 본 론

2.1 차세대원전 무선통신계통 요건

2.1.1 설계 요건

현재까지 한전에서는 상대적으로 고출력인 TRS (Trunking Radio System)를 송배전사업장에서 활용하고 있으나, 국내 발전소에는 무선통신계통이 적용되지 않은 관계로 관련요건이 정립되어 있지 않으므로 차세대원전 개발에 참조문서로 사용하고 있는 EPRI ALWR URD(Electric Power Research Institute Advanced Light Water Reactor-Utility Requirements Document)를 근거로 차세대원전의 무선통신계통에 대한 설계기본요건(K-URD)를 작성하였다.

2.1.2 기능 요건

○ 무선통신설비계통 기기(base station, antenna, amplifier, repeater 등)에 의해 휴대장비를 사용하여 운전원과 보수원 사이 필요한 통신을 언제 어디서나 사용할 수 있어야 한다.

○ 비상시를 포함한 일반운전 시에도 사용토록 구성되어야 하고, High-noise 지역에서 통신이 가능하도록 적절한 장비가 제공되어야 한다.

○ 전용 무선통신계통은 point-to-point 방식을 기본

으로 하고 비상시를 위한 다중 통화나 party line 통신 능력을 갖도록 설계되어야 한다.

○ Critical 상황에서 운전원과 보수원 사이의 사용이 우선되도록 구성되어야 하고, Paging과 구내전화(PABX:Private Automatic Branch Exchange)계통을 지원할 수 있도록 설계되어야 한다.

○ 무선통신 설비와 전기전자기기 사이에 서로 방해현상이 없고, 무선통신 설비가 주위의 전기전자장비로부터 방해나 noise에 영향을 받지 않도록 설계되어야 한다.

○ 단일고장(single failure)으로 인해 하나 이상의 장치(device)나 장소(location)의 통신이 장애를 받지 않도록 계통의 신뢰도를 확보해야 한다

○ 무선통신설비에 대한 전원은 모든 비정상 사고 및 비상사태 동안 적절히 동작하기 위해 신뢰성 있고 Back-up source를 가진 소내전원에서 공급되도록 설계되어야 한다.

2.2 적용 가능한 무선통신계통

2.2.1 개요 및 배경

원전내부를 다수의 Cell로 분할하고 단위 Cell별로 기지국을 설치하며, 기지국의 방사매체는 Cell의 공간구성 환경을 고려하여 안테나, 누설동축케이블 또는 이들을 혼용하는 방법으로 무선통신 시스템을 구성한다.

○ 다수의 Cell로 구성

- 원전 내부는 두꺼운 철근 콘크리트 용벽/격벽으로 구획된 다수의 공간으로 구성되어 있어 이용하는 전파의 주파수가 높을수록 콘크리트벽의 투과손실이 커진다.

- 보수원이 휴대하는 무선 송수신기는 작업중에도 사용할 수 있도록 소형·경량화(hand free 기능포함) 시켜야 하고 휴대기의 최대출력은 타설비의 RFI 내성(140dB μ V/m)보다 8dB 낮은 132dB μ V/m로 권고(EPRI/NRC:Nuclear Regulatory commission)되고 있으며 단위 Cell의 크기는 휴대기의 출력에 비례한다.

- 단위 Cell에서 사용하는 전파(주파수)가 상호 간섭하지 않을 만큼 떨어진 장소에서 같은 주파수를 재사용할 수 있어 사용 주파수 확보에 유리하다.

- 이상과 같은 측면을 고려 원전구내를 몇 개의 Cell로 구분하여 Cell별 기지국을 설치한다.

○ 중앙설비는 휴대기의 위치관리 및 회선제어 기능을 가진 교환기로 구성

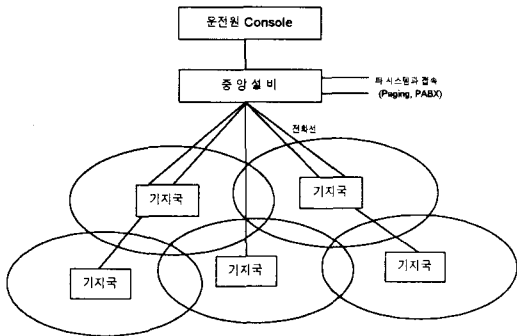
- 원전내에 있는 누구와도 언제, 어디서나 무선통신을 하기 위해서는 휴대기의 위치를 등록·관리하는 기능(로-밍)이 필요하며, 이동하는 휴대기가 통화중에 다른 Cell로 이동하는 경우라도 통화가 계속될 수 있도록 접속기지국을 변경시키는 기능(핸드오버)이 필요하다.

- 운전원이 원하는 보수원을 호출하여 무선통화를 하거나, 운전원 및 보수원 상호간의 통화, 일반통화 중에 긴급 통화로의 전환, 다자간 회의통화 등을 위한 무선통신 회선제어 기능이 필요하다.

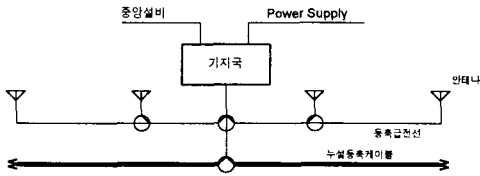
- 원전내의 타시스템(Paging Phone, PABX 등)과의 상호연동과 원전외부의 관련기관과의 상호접속 통화를 위한 교환접속 기능이 필요하다.

○ 누설동축케이블 및 안테나를 이용한 Cell 구성

- 전파의 전파(투과) 손실이 큰 철근 콘크리트벽으로 구획된 다수의 공간에 고주파 동축케이블과 안테나의 기능을 가진 누설동축케이블을 이용하여 콘크리트벽을 관통 포설함으로써 폐쇄 공간내에 일정 레벨의 RF 신호를 효과적으로 제공할 수 있으며 또한 안테나 방식(고주파 동축케이블+분배기+안테나)에 비하여 접속손실 및 분배손실이 적어 Cell의 크기를 확장시킬 수 있다.
- RFI에 민감한 설비가 설치되는 공간 또는 폭은 좁고 길이가 긴 공간에는 누설동축케이블을 사용하고, 비교적 큰 장방형 또는 원형 공간에는 안테나를 사용하는 방식을 혼용함으로써 효율적인 Cell을 구성한다.



A) 원전내 무선통신시스템의 Cell 구성



B) 단위 Cell 내의 무선통신 시스템 구성

[그림 1] 원전내 무선통신 시스템 구성개요

2.3.2 구성요소

차세대 원전내 무선통신시스템의 구성 요소는 다음과 같이 크게 3가지 요소로 나눌 수 있다.

○ 무선 교환기(Radio Exchange)

- 무선 통신시스템의 제어를 담당하며 기지국과 상업용 공중망 또는 소내 사설 전차교환기(PABX)와의 연계를 수행하는 중앙설비를 말한다. 보통 Radio Exchange로 불리며 Master Control Unit, Radio Controller, WPABX(Wireless PABX)로도 나타낸다.

- 입출력되는 모든 통화는 무선교환기를 경유하여 이루어지며 통신망의 출력, 신호제어와 같은 기능들은 무선교환기의 특수한 프로그램제어를 통해 이루어진다.

- 무선 교환기는 아날로그 또는 디지털 인터페이스 장치를 통하여 사설 교환기(PABX)에 연결됨.

- 무선 교환기 내의 speech processing units는 dial tone 감지 기능 및 dial tone 발생기능 그리고 울림 방지기능 등을 조절한다.

- 각각의 무선 교환기는 수백 통의 통화량을 수행할 수 있으며 다중 무선 교환시스템(Multiple Radio Exchange system)인 경우 사설 교환기(PABX)와 연결 시 수천통의 통화량을 수용할 수 있다.

○ 기지국(Base Station)

- 기지국은 cell로 이루어진 통화 가능영역을 구성하며 셀 범위 내에 있는 휴대기와 상호 통화신호를 교환함으로써 무선 교환기로의 연결을 통한 통신을 이루어주며 기지국이 제공하는 셀 범위 내에서 여러대의 휴대기

가 사용될 경우 동시 통화채널을 제공한다.

- 사용 기지국 대수 결정은 서비스되어질 영역의 전체 크기와 사용될 전체 통화량에 의해 결정되어진다.

- 각각의 기지국에서 보장하는 통화 가능 범위가 합산되어질 경우 무선 통신 시스템의 전체 통화 보장 범위가 결정되며 각각의 기지국에서 제공하는 통화 보장 범위는 주변 환경적인 특성과 무선 주파수 출력 레벨에 영향을 받는다.

○ 휴대용단말기(Portable Telephone Handsets)

- 휴대기는 기존 유선전화기의 기능 및 특수한 기능(hand free 기능)을 제공하는 소형,경량의 단말기로 기지국과의 통화신호교환을 통해 무선통신을 서비스한다.

- 기지국 신호의 지속적인 감지를 통해 보다 나은 채널이 발견되면 감지할 수 없을 정도의 빠른 속도로 핸드오버 기능을 수행하며 휴대기는 통화가 보장되는 지역 어느 곳이든지 사용자의 자유로운 통화를 이루어 준다.

- 통화가 이루어지는 동안 사용자가 자유롭게 이동 하더라도 연결의 끊김이 없으며 어떠한 통화 품질 저하도 느끼지 않는다. 또한 수백의 휴대기가 단일 휴대용 무선 통신 시스템에 사용 가능하다.

2.3.3 접속방식

원전내 무선통신망은 Full Duplex하여야 하며 원전내에서 타용도(보안 및 소방 등)로 사용되는 회선까지를 고려하여 충분히 소요회선을 확보할 수 있어야 한다.

무선접속 방식은 채널접속방식과 다원접속방식(복수채널 접속방식)이 있다. 채널접속방식은 사용할 수 있는 채널(주파수)이 고정되어 있어 그 회선이 사용 중에는 다른 무선통화가 불가능한 것으로서 동시통화 수만큼의 주파수 확보가 필요하다. 다원접속방식은 현재 서비스중인 이동통신서비스에서 채택하고 있는 방식으로 복수의 회선내에서 비어 있는 회선을 제어회선이 지정하는 방식으로 채널접속방식에 비하여 적은 회선으로도 무선통신망을 구축할 수 있다.

무선접속방식은 전파법에 의하여 사용 주파수와 함께 지정되는 것으로서 현재 할당된 주파수를 사용하는 경우에는 지정된 방식을 사용하여야 하며, 할당된 주파수 대역내에서 새로운 무선접속방식을 적용하거나 다른 주파수를 사용하는 경우 무선접속방식을 포함하여 정보통신부장관의 허가를 받아야 한다.

[표 1] 자가통신/ 구내통신에 할당된 주파수 현황

구분	주파수 범위	채널간격	채널수	비고
주파수 공용 통신 (TRS)	806~811MHz (이동국 송신)	12.5KH z	400	주파수를 받 아 야 만 사 용 가 능
	851~856MHz (기지국 송신)	25.0KH z	200	
	371.5~376.5MHz (이동국 송신)	12.5KH z	400	
	389.5~394.5MHz (기지국 송신)	25.0KH z	200	
WPABX (CT-2)	910~914MHz (송·수신 공용)	100KH z	40	허가 불 필 요

*CT: Cordless Telephone

따라서 차세대 원전내 무선통신 시스템의 사용 주파수는 소요회선 확보 및 무선접속방식 등을 고려하여 WPABX 방식으로 결정한다.

2.3.4 방사매체

기지국의 RF 신호를 원전내부에 적절히 공급하기 위한 방사매체는 누설동축케이블과 안테나를 혼용하며, 분배기를 사용하여 RF 신호를 누설동축케이블 또는 안테나에 분배 공급하는 방식으로 단위 Cell을 구성한다.

○ 누설동축케이블

누설동축케이블은 외부도체에 형성된 Slot의 주기 및 형태에 따라 방사선로인 LCX(Leaky Coaxial Cable)와 표면파 선로인 RCX(Radiating Coaxial Cable)로 분류 되는데, 철근 콘크리트 옹벽 및 격벽의

로 구성되는 원전내의 특수환경 및 RF에 민감한 디지털 기기들이 설치되어 있어 필요 최소한의 RF 신호를 사용하여야 한다는 측면에서 표면과 방식에 비하여 상대적으로 안정된 특성을 유지할 수 있는 LCX를 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

○ 안테나

RF에 민감한 디지털 기기가 적고, 비교적 넓은 공간에 무지향성(Omni antenna) 안테나를 설치한다.

○ 분배기 및 분기기

RF 신호를 분배하는 지점에 분배기 또는 분기기를 사용한다. RF 신호를 등분배하는 경우에는 분배기를 사용하며, 적은 RF 신호로도 충분한 지역에는 분기기(3:7 분배기)를 사용한다.

○ 누설동축케이블의 포설

- LCX는 지정된 포설 금구를 사용하여 2~3m 간격으로 직선 포설하며 만곡부는 허용 곡률반경 이상이 되도록 한다.

- LCX 및 고주파 동축케이블의 콘크리트벽 관통은 1/2" 고주파 동축케이블을 사용한다.

2.3 EMI/RFI 평가 및 저감방안

2.3.1 원전내 EMI/RFI Source

○ Continuous wave signals, Radiated

- 의도적 발생원(Portable transceiver, Cellular telephone, Microwave relay)

- 비의도적 발생원(Arc welder, Public address system, Switching mode power supply, Digital data transfer line, M-G brush assembly, 전력도선이나 접지계통의 arcing, switching device, 측정/제어기기 내부의 신호 발생기)

○ Continuous wave signals, Conducted

- 저 주파수대 발생원(10 MHz 이하)

조명, Switching mode 전력장치, SCR을 이용한 전압조정장치

- 고 주파수대 발생원(10 MHz 이상)

디지털 관련 기기 내부의 상호 연결도선들

○ Surges

낙뢰, 부하개폐 및 전로사고에 의해 발생하는 단방향 펄스로서 노출된 전력간선, AC나 DC 전력도선, 전력접지계, 금속실드로 낙뢰 차폐되지 않은 도체/케이블, 분리된 접지매트 사이를 연결하는 도체에서 주로 발생되며 예상되는 최대전압은 ±3kV이다.

○ Electrical Fast Transients or Impulses

낮은 에너지대의 찌지와 거의 동일하며 단거리 배전 선로의 스위칭에 의해 발생하는 반복된 형태의 펄스이다. 주요원인은 unsuppressed relay나 coil에 기인하며 예상되는 최대전압은 ±3 kV이다.

○ Electrostatic Discharges(ESD)

직접 접촉에 의한 방전(direct discharge)과 간접 접촉에 의한 방전(indirect discharge) 두 종류로 나눌 수 있으며 예상되는 최대전압은 direct discharge는 8 kV이며 indirect discharge는 15kV이다.

2.3.2 EMI/RFI 저감 방안

○ 무선송수신기(Portable transceivers) 사용

무선송수신기의 방출 제한치(4 V/m)와 권고되는 기기 민감도 제한치(10 V/m)간에 최소 8 dB 이상의 안전마진이 제공되도록 최소이격거리가 유지되어야 한다. 요구되는 최소 이격 거리의 산정은 무선송수신기의 방출 제한치(4 V/m), 선택된 무선 송수신기의 실효 방사전력을 다음 공식에 적용함으로써 구할 수 있다.

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P}}{V}$$

d : 무선송수신기로부터의 최소이격거리[m]

P : 무선송수신기의 실효 방사전력[W]

V : 무선송수신기의 방출 제한치(4 V/m)

결정된 최소 이격 거리(d)는 반드시 준수되어야 하며 보다 확실한 방법은 EMI/RFI 민감기기가 위치한 룸(주제어실)내에서는 특수한 차폐장치를 설치하고 무선송수신기의 사용을 제한하는 것이다.

○ 아크 용접(Arc welding)

EMI/RFI에 민감한 기기가 가동중인 실내에서는 아크용접이 금지됨.(단, 기기가 차폐된 외함내에 보호되어질 경우 작업이 가능)

○ 접지(Grounding)

- 10MHz 이상에서 동작되는 기기에 접속된 2m이상의 EMI/RFI에 민감한 케이블과 도선의 차폐(Shields)는 360도 Backshell 콘택타를 이용하여 차시(Chassis)에 접지시키며, 10MHz미만에서 동작하는 기기는 길이가 0.15m(6 in) 미만의 저임피던스 접속 케이블(Jumper)을 사용한다.

- EMI/RFI에 민감한 기기는 IEEE 1050-1989의 Central Distribution Frame Ground 계측 접지가 적용되며 또한 IEEE 1100-1992의 local signal reference grid 설명에 따른다.

- 현장 설치시의 접지방법(Scheme)과 케이블의 선택은 EMI 레벨에 부분적으로 영향을 줄 수 있으므로 기기 민감도 검증기준에 사용된 접지방법 및 케이블과 동일하게 설치되어야 한다.

○ 기기 및 케이블 이격

- 큰 부하의 스위칭은 EMI/RFI 민감기기에 과도현상(Transients)을 야기시킨다. 따라서 Power Generation EMI/RFI 발생원과 EMI/RFI 민감 기기간에 표 2 의 기기 및 케이블 이격을 유지함으로써 과도현상에 의한 영향을 최소화할 수 있다.

[표 2] 기기 및 케이블간 이격거리 (EPRI TR- 102323)

Emitter Voltage(V)	기기간 이격거리(m)	케이블간 이격거리(m)
125V 초과	- 기기사이에 차폐(shield)를 하지 않은 경우 : 3 m - Emitter나 민감한 기기가 차폐 외함(Shielded enclosure)내에 있을 경우 : 1 m	- Emitter와 민감한 케이블이 같은 트레이에 있을 경우 : 0.6 m - Emitter나 민감한 케이블이 전선관내에 있거나 또는 이들이 서로 분리된 케이블 트레이에 있을 경우 : 0.3 m
125V 이하	이격 요건 없음	트레이 내에서 0.1 m

3. 결 론

본 연구에서는 1450MWe급 개방형 경수로로 개발중인 차세대원전의 무선통신계통 구성, 기능, 접속규격, 사용주파수, 인허가 측면 그리고 개발방향 등에 대한 종합적인 설계개념에 관해 살펴봄으로써 차세대원전 무선통신계통에 대한 전반적인 설계개념을 소개하였다. 차세대원전은 기본적으로 보다 안전하고 경제적인 원전개발을 목표로 설계를 진행중이다. 따라서 차세대원전의 무선통신계통도 앞에서 살펴 본 기본설계개념을 바탕으로 향후 상세설계를 진행하여 보다 신뢰성있고 경제성 있는 통신계통을 설계하기 위해 더욱 노력할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력기술(주), "Wireless communication system application", 1999.2
- [2] ABB-CE, "Wireless communication system" SWEC-E050-001, 1999.1
- [3] "차세대원전 무선통신계통 설계적용 전문보고서", 선진기술사, 1998.12
- [4] EPRI TR-102323 "Guideline for EMI testing in power plant, 1997. 1
- [5] NRC Draft regulatory guide DG-1029
- [6] EPRI URD Section 4.6 Voice communication sys.
- [7] IEC 1000-4-2,4.5,8,9,10,11,12 "Electromagnetic compatibility(EMC)" 1995
- [8] IEEE 1050-1989, IEEE 1100-1992