

# 원자력발전소내 최적 무선통신시스템 적용성 검토

## A Study on the Application of the Most Suitable Wireless Communication System in Nuclear Plant.

고도영 \*, 이재곤 \*\*, 배병환 \*\*\*

Do-Young Ko \*, Jae-Gon, Lee \*\*, Byung-Hwan, Bae \*\*\*

**Abstract** - This paper is a study on the application of the most suitable wireless communication system in nuclear plant. Chapter. 1 is the point at issue because of using of only wire communications and present states of wireless communications in nuclear plant of the world. Chapter. 2 is guides of wireless communications in nuclear plant, a case of EMI/RFI, EMC measuring and review of the best wireless communication in nuclear plant in Korea. Chapter. 3 is advantages and good reasons on the using of wireless LAN in nuclear plant.

**Key Words** : Nuclear Plant, Wireless LAN, I&C, EMS, EMC, EMI/RFI

### 1. 장 서 론

전자공학 기술의 눈부신 발전으로 원자력 발전 분야도 예외가 될 수 없이 무선기술의 대한 사용요구가 증가되어 왔다. 그러나, 현재 국내의 원자력발전소(원전)는 EMI/RFI (Electronic Magnetic Interference / Radio Frequency Interference) 에 의한 발전소 정지 등의 고장을 예방하기 위하여 휴대용전화기를 비롯한 어떠한 무선통신장비의 사용을 금하고 있다.

해외 원전에서는 운전능력 향상, 발전소 비상사태 대응 능력향상, 소방, 보안, 기기유지보수, 핵연료처리 등의 다양한 용도 때문에 폭넓은 주파수, 출력 및 특성을 가진 무선통신시스템을 운용하고 있는데, 미국은 Calvert Cliff 원전 등 30여 개 원전, 캐나다는 Gentilly 원전 등 3개 원전, 그 외 스위스, 일본, 독일, 불가리아, 체코, 슬로베니아 등 있다고 조사[1] 되었다. 최근에는 프랑스(EDF)에서도 이미 6개 호기에서 무선통신시스템이 사용되고 있다.

무선통신은 유선통신에 비하여 저렴한 설치비용과 저렴한 고신속한 유지보수, 신중설 및 교체용이, 고장개소 감소, 뛰어난 이동성 제공, 신속한 통신 등의 일반적인 이점이 있다. 원전에서 유선통신시스템만 사용함으로써 다음과 같은 어려움이 존재하고 있다.

- 기존 пей징폰은 5채널로 한정되어 있어 발전소 정지 보수시 사용자 과다로 통화에 어려움이 있고, 특정인과의 통

화

\* 現 한국수력원자력(주) 연구원, 서울시립대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 공학박사 수료

\*\* 現 한국수력원자력(주) 선임연구원, 충남대 대학원 금속공학과 공학박사

\*\*\* 現 한국수력원자력(주) 책임연구원, KAIST 대학원 핵공학과 공학석사

화를 위하여 발전소 전체를 호출하므로 소음이 크다.

- 원전 주제어실(MCR : Main Control Room)과 현장에서 페이징폰을 사용해야 할 경우 작업중단 후 기기로 이동해야 하므로 안전성, 작업지속성 및 효율 저하, 기기 조작 불편이 상존한다.

- 현장 고소음 지역에서는 유선통신기기의 호출 및 통화가 곤란하다.

- MCR에서 제어 및 운전용 설비를 조작하면서 현장운전원과 통화하기 곤란하여 긴급상황 발생시 연락이 어렵다.

- 1:1통화, 3자통화, 다자간통화, 전체호출 및 통보 등을 할 수 없다.

원자력발전소의 보호·안전관련 아날로그 및 디지털 I & C (Instrumentation & Control) 시스템에 전자파양립성 (EMC : Electronic Magnetic Compatibility)을 확보하면서 가장 적합한 무선 통신시스템을 제시하고자 한다.

### 2. 장 본 론

#### 2.1 절 원전 무선통신 규제

원전 무선통신과 관련한 가장 영향력이 있는 규정은 U.S. NRC(Nuclear Regulatory Commission) Regulatory Guide 1.180[2] 로 "안전관련 계측제어계통에 대한 EMI/RFI 영향 평가 지침서 Revision 1" (October 2003) 이다. 이 지침서는 시험방법 및 기준을 IEC (International Electrotechnical Commission) 61000, 계측제어기기의 접지 및 차폐는 IEEE Std 1050, 전자기 방사 및 감응성 요건은 MIL Std 461E 등을 준용하도록 규정하고 있고, U.S 10 of the Code of

Federal Regulations 50 (10 CFR Part 50)의 요건을 충족한다.

원전의 안전 및 보호관련 계측제어계통과 무선통신기기간에 8dB 차이가 유지되어야 한다. 10V/m(140dB $\mu$ V/m)의 방사전계 동작영역을 위하여 제한구역내의 휴대용 무선송수신기기로부터 방출되는 방사전계가 안전관련 계측제어계통 근처에서 4V/m(132dB $\mu$ V/m)로 제한되도록 해야 한다. 무선통신기기 사용금지 구역 최소 이격거리는 다음과 같이 계산된다.

$$d = (30 PG)^{0.5}/E \text{ -----식. 1}$$

- 단, P = EMI/RFI 방출기기 방사출력(Watts)
- G = EMI/RFI 방출기기 방사출력 이득(G=1이 최약)
- E = EMI/RFI 방출기기 설치지점에서 허용 방사전계 강도(V/m)

## 2.2 절 국내 원전에서 EMI/RFI 및 EMC 측정 사례

원전의 오동작, 고장문제를 최소화하기 위하여 발전소 현장에 디지털 계측제어시스템을 설치하기 전에는 전자기파 환경검증시험을 통하여 설비가 충분한 EMS (Electro Magnetic Susceptibility)를 갖추고 있음을 확인하며, 현장 설치 후에는 EMI/RFI로 인한 영향을 줄 수 있는 기기의 사용을 제한한다. 그 대표적인 것이 바로 무선통신기기이다.

현재 국내 원전에서는 무선통신시스템을 현장(특히, 원전 안전 및 보호관련 계통 설비가 운전되고 있는 지역 근처)에서 사용하는 것이 엄격히 통제하고 있다.

EMI/RFI 측정 사례[3]로는 영광 3호기와 고리 1호기 MCR 주변에서 EMI 실태를 실험 (측정자 : 미국 Wyle Lab./'94.5) 하였는데 각각 25dB $\mu$ V/m ~ 105dB $\mu$ V/m와 25dB $\mu$ V/m ~ 115dB $\mu$ V/m 로 측정되어 EMI 내성을 10V/m(140dB $\mu$ V/m)로 할 때 전자기기 방출 허용치 4V/m(132dB $\mu$ V/m) 보다 작으므로 (8dB 이상 차이) 안전함을 증명 하였다.

EMC 측정 사례[3]로는 영광 3호기 AFS-1000 캐비닛의 도어를 개방한 상태에서 14KHz~10GHz의 주파수로 실험(측정자 : 미국 Wyle Lab./'94.5) 하였는데 10V/m 까지 이상 없었고, 울진 5. 6호기 DPPS 캐비닛 (Proto Type) 에서도 같은 실험(측정자 : 미국 Wyle Lab./'94.5)을 하였는데 4V/m ~ 10V/m 까지 측정되어 역시 이상없음을 증명 하였다.

## 2.3 절 원전 무선통신시스템 검토

무선통신시스템은 크게 전기통신사업용과 자가통신용으로 분류할 수 있다. 전기통신사업용은 전기통신사업법에 의한 허가를 받거나 등록 또는 신고를 하고 전기통신역무를 제공하기 위한 것으로서 이동통신 사업자가 제공하는 셀룰러(이동전화), 개인휴대통신(PCS), 주파수 공용통신 (TRS) 등이 있으며, 자가무선통신은 전기통신사업자 이외의 법인 또는 공공기관이 자신의 업무를 위한 무선통신 시스템으로 공공업무를 위한 경찰, 소방, 철도, 등의 무선통신망이 운용되고 있다.[1]

원전과 같은 디지털 I & C 시스템을 시설 및 운용하고 있는 국내 대부분의 화력발전소는 이미 주제어실을 포함한 발

전소내에서 제한없이 다양한 무선통신시스템을 사용하고 있다. 대표적인 무선통신시스템은 무선페징폰(10-100mW, 900MHz)으로 기존 유선페징폰에 무선 기지국을 추가하여 이동성 확보, 신속한 통신, 업무효율 향상 등 많은 효과를 얻고 있다. 그 다음으로 PCS 방식이 있는데 대표적인 발전소는 보령화력발전소로 발전소내에 PCS시스템을 도입하여 통신망사업자가 기지국, 중계기, 전송장치 및 전송망을 시설하고, 발전소는 통신사업자의 PCS 시스템을 구내사설교환기(PABX : Private Automatic Branch eXchange), 유선 페이징폰 시스템과 연계하여 발전소 어디에서나 혹은 이동 중에도 개인 소유의 PCS로 자유롭게 호출을 하고 통신을 할 수 있다. 발전소내에서 PCS 통화료는 무료이며, 구내번호 4자리로 즉시 호출 및 통화가 가능하다. 또한, 영흥화력발전소(신고리 3, 4호기)설치예정 DCS 기종 기설치 및 운용/Westinghouse社, "Ovation"은 WLAN 방식(IEEE 802.11b : 2.4GHz, 11Mbps)을 도입하여 발전소 MCR에서도 무선 인터넷을 자유로이 사용할 수 있을 정도로 화력발전소는 이미 다양한 무선통신시스템을 구축하여 운영하고 있다.

무선통신시스템에는 무선호출, 무선데이터, VHF, CT-2, 셀룰러(이동전화), 개인휴대통신(PCS), 주파수공용통신(TRS), WPABX(Wireless PABX), WLAN(Wireless Local Area Network), Bluetooth, Home RF(Radio Frequency), IrDA (Infrared Data Association) 등 다양한 시스템이 있다.

그러나 모든 무선통신시스템이 원전에 적합하거나 타당성과 경제성이 있는 것은 아니다.

- 셀룰러와 PCS는 전기통신사업용으로 통신망사업자와 원전간 설치, 유지보수, 관리에 많은 문제점과 이점이 발생할 소지가 많다. 또한, 다양한 통신망 및 타시스템과의 연계성이 적고, 향후 기술발전성 및 원전 적합성이 낮다.

- Bluetooth는 Home Networking과 무선 Computer의 핵심으로 부각된 기술로, 최대반경이 10m 정도이고, 전송속도가 1Mbps(최대 2Mbps)로 느리고, 비경제적이다.

- Home RF 역시 Home Networking 목적으로 개발되었고, 기기를 최대 127개 까지만 접속할 수 있으며, 속도가 느리고, 기기가 늘어날수록 속도가 늦어지므로 원전 현장에 부적합하다.

- IrDA는 적외선을 이용하여 높은 주파수로 전송속도가 빠르고 비교적 저렴하여 반사환경이 좋은 사무실 환경에 적합한 방식이나, AIf(Advanced Infrared)에서도 최대 8m 정도의 거리까지만 통신이 가능하고 LoS(Line of Sight) 통신만 가능하여 역시 부적합하다.

- TRS는 전기통신사업자용이며, 다양한 통신망 및 타시스템과의 연계성이 낮고, 향후 기술발전성 및 원전 적합성이 낮은 단점이 있다. 무엇보다 출력이 크므로 원전의 EMC 확보를 위하여 최소 이격거리를 6.12m (G=1인 최악의 경우)를 유지하여야 하므로 현실적으로 원전에 사용하는데 무리가 있다.

- WPABX는 셀룰러 방식에 누설동축케이블, 안테나 등을 설치하는 방식으로, 검토한 무선통신 방식 중에서 가장 출력이 적으므로 일반적으로 무선통신기기와 I & C 계통 설비와의 이격거리가 아무리 가까워도 사용하는데 문제가 없으나, 시설비가 WLAN에 비하여 고가이고, 다양한 통신망 및 타시스템과의 연계성이 낮으며, 현재 및 향후 기술발전성 추세가 희망적이지

않다.

- WLAN은 출력이 낮아 원전 전지역에서 자유로이 무선통신을 할 수 있는 장점과 현재의 인터넷 기술의 비약적인 발전으로 향후 기술발전성과, 원전 적용성이 우수하고, 기존 원전 폐이징 폰, 사설교환기, PSTN, VoIP, 웹카메라 등의 TCP/IP 네트워크의 자유로이 연계할 수 있다.

위의 개략적인 무선통신시스템 검토결과를 바탕으로 최근 기술발전 동향과 원전 환경과 특성을 종합적으로 판단할 때 가장 타당성이 크고, 구축 가능성이 높은 대표적인 무선통신시스템 3가지를 표. 1과 같이 비교하였다.

표. 1 대표적 무선통신시스템 비교표

구분	TRS	WPABX	WLAN (802.11g)
기지국 반경(Km)	30	0.05~0.2	0.3
주파수	300MHz 800MHz	910MHz	2.4GHz
접속방식	TDMA FHMA	FDMA	OFDM
출력	1~20W	5~10mW	1~100mW
최소이격 거리(m)	6.12	0.13	0.43
타시스템과 의 연계	전용 교환기	전용 교환기	PABX, 페징폰, PC, SEVER, PDA, VoIP, 웹카메라 등
발전성 및 적합성	낮음	낮음	높음

※ OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

WLAN (IEEE 802.11 Standard) 시스템 방식은, IEEE 802.11 (2.4GHz, 1-2Mbps, FH, DS 방식), IEEE 802.11a (5GHz, 54Mbps, OFDM 방식), IEEE 802.11b (2.4GHz, 11Mbps, DS 방식), IEEE 802.11g (2.4GHz, 54Mbps, OFDM 방식) IEEE 802.11i(128bit encryption solution), IEEE 802.11e(QoS : Quality of Service) 등 많은 표준이 있으나, 국내 전파법규상 사용가능한 주파수대와 보안, QoS 등의 다각적인 세부 검토로 최적의 WLAN을 구성할 필요가 있다.

WLAN은 현재까지 검토한 무선통신시스템 중 가장 원전의 환경과 특성에 적합한 무선통신시스템이며 향후 기술발전성도 우수한 방식이라 할 수 있다.

### 3. 장 결 론

과거 EMI/RFI와 관련하여 직접적 또는 추정적 원전의 오동작 사례는 주로 고출력 무선통신기기 사용시 발생한 것으로 추정된다. 사실상 국내 원전에서도 셀룰러폰, PCS(출력 300mW) 등을 소지한 채 발전소 전 구역 출입과 작업을 하고 있으나 이와 관련한 원전 고장정지 사례는 보고된 바 없다.

I & C 계통 설비의 전자파 내성은 10V/m를 만족하며, 원

전과 동일한 설비를 사용하고 있거나 유사설비 시설장소인 화력발전소, 전력소, 통신실에서 CT-1 및 셀룰러폰은 아무 문제없이 사용하고 있다.[4] 따라서, 국내 원전에서도 저출력 무선통신기기는 문제없이 사용할 타당성이 충분히 있다. 해외에서는 이미 오래전부터 많은 원전에서 무선통신기기를 자유로이 쓰고 있거나(Cooper 원전 등 12기), 사용금지구역, 최소이격거리, 출력 등을 설정한 후 사용하고 있다.[1]

전자기와 검증방법은 방출 및 내성시험으로 하며, 이를 위한 EMC 확보요건은 U.S NRC Regulatory Guide 1.180에 따라 앞에서 살펴본 식.1을 만족한다면 문제될 것이 없다.

EPRI TR-102323[5]는 U.S NRC에 의해 인정되었는데, 여기서도 더 이상 추가 발전소의 전자기와 환경조사는 불필요하다고 언급하였다. 따라서 더 이상의 현장시험이나 추가적인 연구없이 국내 원전 환경, 특성, 경제성, 효율성, 편의성, 다양한 기능 등을 검토하여 최적의 무선통신시스템을 검토 후 설치 및 사용이 가능하다.

미국을 비롯한 전 세계 원전의 무선통신시스템 사용현황을 보면, 150KHz ~ 2.4GHz대의 다양한 주파수 대역, 수mW ~ 수W의 저출력을 채택하여 사용하고 있다.

이제까지 검토한 결과를 바탕으로 국내 원전에서 가장 타당성이 크고, 장점이 많은 방식은 WLAN방식(IEEE 802.11 Standard)이다. WLAN은 출력이 낮고, 무선기기와 장해대상 기기와의 최소이격거리가 짧으며, 현재 및 향후 무선통신 기술 발달 추세에 따라 다양한 통신망 및 타시스템과 연계가 우수하여, 발전소 현장 어디에서나 음성, 문자, 도면, 화상 및 동영상 등의 멀티미디어 서비스를 주고 받을 수 있을 뿐 아니라, 향후 원전 유비쿼터스 환경기반을 조성할 수 있다.

WLAN은 국내 전파법규상 5GHz대는 사용이 쉽지 않으므로, 2.4GHz대이면서 대역폭이 큰(54Mbps) IEEE 802.11g가 가장 적합하다고 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 지문구 외 "차세대원전 무선통신계통 적용성 검토보고서", KEPRI, 1999. 7.
- [2] U.S Nuclear Regulatory Commission "Regulatory Guide 1.180 Revision 1", October 2003.
- [3] 박세용 외 "원자력발전소 제어제통에 대한 EMI 영향 연구", KEPRI, 1995. 1.
- [4] 박세용 외 "전력소 구내에서의 전자용용설비에 미치는 EMI 영향 연구", KEPRI, 1991. 8.
- [5] EPRI TR-102323 "Guidelines for Wireless Technology in Power Plants", December 2002.