

B-03

원전 비상대응시설에의 무선통신설비 적용성

김성환, 지문구, 성기방, 안용수, 이재성
한수원(주) 신형원전개발센터

Wireless Communication System Application in Emergency Response Facility of Nuclear Power Plant

Sung Hwan, Kim, Mun Gu, Chi, Ki Bang, Sung,
Yong Soo, An, Jae Sung, Lee
Korea Hydro & Nuclear Power Co.,
Center for Advanced Reactors Development

1. 서론

원자력발전소는 비상시를 대비한 종합시설로서 비상대응시설(Emergency Response Facility)을 두고 있으며, 주제어실(Main Control Room), 기술지원실(Technical Support Center), 운영지원실(Operational Support Center), 소외 비상대책운영실(Emergency Operations Facility) 등으로 구성된다. 본 논문에서는 핸드폰의 사용이 일상화되어있는 현실을 고려, 국내외 무선통신설비 적용현황, 비상대응시설에 무선통신설비를 적용할 경우의 고려사항, 그리고 그 실효성을 검토한다.

2. 국내의 적용현황

가. 국내현황

국내 원자력발전소의 통신계통은 기본적으로 유선계통과 Paging Phone으로 구성되어 있으며, 무선통신설비를 운전용으로 사용하는 원전은 없는 것으로 나타났다. 다만, 최근 비상대응시설의 배치특성이 다른 원전과 달리 TSC가 별도의 건물로 주제어실로부터 상당거리 이격되어 있는 고리원전의 경우는 본 시설에 무선통신중계기를 추가 설치하여 무선통신설비의 사용을 가능하게 하였다. 그러나 Power Block내에 있는 주제어실 및 운영지원실과의 무선통신은 여전히 가능한 상태가 아니므로 상당히 제한적인 통신만이 가능한 상태라 할 수 있다.

나. 국외현황

국외의 무선통신설비 적용사례를 파악하기 위하여 미국 원자력사업자협회(INPO, Institute of Nuclear Power Operations)의 Network과 해외자문을 통하여 미국, 캐나다, 유럽 등 무선통신설비를 운영하고 있는 46기의 국외원전자료를 검토한 결과는 다음과 같다.

- 운전 및 정지중 주제어실과의 통신을 포함하여 발전소 종사자간의 무선통신을 자유로이 하는 원전은 미국의 Cooper 원전 등 12개원전으로 나타났음.
- 미국의 Fort Calhoun 원전 등 19개원전에서는 주제어실에서 송신기출력에 따라 사용을 허용하거나 무선 주파수 감도시험방법을 개발·시험후 사용하는 계획을 준비하는 등 무선통신을 제한 사용하도록 하고 있음.
- 주요 무선통신 제한장소는 다음과 같음.
 - 주제어실
 - 계전기실
 - 제어봉구동 캐비닛실
 - 제어장비실
 - Switchgear Room
 - 격납건물
 - UPS Room
 - RFI에 민감한 전자장비가 있는 지역
 - 정비중 Panel이 열려 있는 곳
 - Cable Spreading Room
 - Computer Room
 - Switchyard 건물
 - EDG Room

다. 국외 전자파 장애 사례

미국 원자력사업자협회(INPO, Institute of Nuclear Power Operations) 및 세계원자력사업자협회(WANO, World Association of Nuclear Operations) Network를 통하여 수집한 자료('98.8 기준)를 토대로 전자파 장애를 경험한 원전은 약 23개원전으로 나타났으며, 주요원인/결과/조치사항들을 소개하면 다음과 같다.

○ 주요원인

- 전자파 장애에 민감한 기기 근처에서 휴대용 무선통신기기를 사용
- 제어반의 문이 개방된 상태에서 휴대용 무선통신기기를 사용
- 제한구역에서 휴대용 무선통신기기를 사용
- 전자파 장애에 민감한 기기 인근에 중계기(repeater) 설치
- 특정 주파수대에 민감한 기기 인근에서 무선통신기기를 사용

○ 결과

- 신호전송기(transmitter)의 오동작에 기인한 원자로 정지
- 소외전원상실(loss of offsite power)
- 전자식 선량계의 오동작
- 계전기의 오동작에 기인한 주제어실 비상환기계통의 오작동

○ 조치사항

- 전자파 장애에 민감한 기기 근처에서 무선송수신기의 사용제한, 경고표시, 사용제한 지역 바닥면에 페인트등으로 표기함.
- 무선송수신기 사용에 대한 교육강화, 사용절차서를 개정함.
- 일부 발전소에서는 주제어실에서 무선 송수신기 사용을 금지하거나 설비를 제거함.
- 계측기기에 대한 전자파 영향성을 평가함.
- 특정 주파수대에 민감한 기기에 대하여는 기기공급업체와 상호검토후 전자파 장애 보완대책을 마련하거나 기기에 대한 Upgrade를 실시함.

3. 무선통신설비 적용시 고려사항

무선통신설비를 운용중인 대부분의 국외원전은 발전소 운전능력향상과 비상시 대응

능력향상을 위한 것으로 나타났으며, 이외에도 소방, 보안, 기기 유지 및 보수, 핵연료처리 등의 용도로 무선통신을 운용하고 있는 것으로 파악되었다. 그리고 사용하고 있는 무선통신시스템의 결정은 자국내 전파법규에서 규제하고 있는 할당 주파수대 및 사용가능 채널수를 고려한 후 사용하고자 하는 용도와 범위에 적절한 설비를 선정, 시험운용단계를 거쳐 실제 적용하는 방법을 채택하고 있다.

원전내부에 무선통신시스템을 구축하는 방안은 원전내부를 다수의 Cell로 분할하고, 단위 Cell별로 기지국을 설치, 안테나 및 누설 동축케이블을 설치하는 방안 등을 고려할 수 있으나 본 검토에서는 이와같은 무선통신시스템의 구축과 관련한 사항보다는 원전이라는 특수한 환경을 고려, 이와같은 시스템을 구축할 경우, 이들로 인한 전자파 장애영향을 배제시키기 위하여 시스템 운용전에 특히 고려하여야 하는 것으로 그 범위를 제한하였다.

미국의 원자력규제위원회(NRC)에서는 원전내의 계장기기 디지털화, 그리고 무선통신계를 적용하는 등 원전내 전자기 환경이 급속히 변화함에 따라 원전의 전자파 장애와 관련한 안전관련 계장기기에 대한 EMI/RFI (Electromagnetic Interference/Radio Frequency Interference) 영향검증에 대한 규제지침을 준비하고자 미국 전력연구원(EPRI)이 검토 수행한 EPRI-TR-102323에 대한 Safety Evaluation Report를 발행하였으며, 2000.1월에 규제지침인 Regulatory Guide 1.180 "Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-frequency Interference In safety related Instrumentation and Control Systems"을 확정하였다. 본 논문에서는 무선통신설비 적용시의 고려사항으로서 규제지침의 내용중 전자파장해 평가지침과 관련한 NRC의 Regulatory Position을 소개한다.

- 원전내 안전관련 계장계통들이 설치된 지역에서는 전자기여건들을 평가하여 지역적인 장애를 야기시키는 어느 특정한 EMI/RFI Source들을 규명하여야 함. EMI/RFI Source들로는 휴대용 및 고정용 기기(Portable transceivers, Arc welder, Power supplies, Generators)가 포함될 수 있음. 계통 기기설치시 특정한전포괄값(specified operating envelopes) 아래로 8 dB보다 큰 것으로 확인된 Source로부터 계통기기가 EMI/RFI 레벨까지 노출되지 않도록 조치를 취하여야 함.
- 원전내 안전관련 I&C 계통들이 설치된 지역은 휴대용 송수신기 사용을 행정적으로 관리하기 위한 통제구역을 설치하여야 함. 이때 통제구역은 휴대용 송수신기 사용지역과 기기 설치지점간의 최소 허용이격거리로 구분되며, 각 원전마다 사용하는 송수신기의 출력과 안테나 특성, 허용 전자방출레벨 등을 고려하여 결정함.
- 통제구역 범위설정기준으로는 EMI/RFI 민감기기의 susceptibility operating envelopes와 허용 전자기 방출레벨(Emission Level)간에 최소 8 dB를 유지하도록 하는 통제구역(exclusion zone) 설정이 필요함. 예로서 운전포괄값 (Radiated electric field operating envelope)이 10 V/m(140 dBμV/m)인 안전관련 I&C 계통 주변에서 휴대용 송수신기의 방사파 전자기방출은 4 V/m(132 dBμV/m)로 제한되도록 통제구역을 설정하여야 함.
- 통제구역의 최소거리는 다음과 같이 계산함.

$$d = (30PG)^{0.5} / E$$

단, 여기서,

P : EMI/RFI 방출기(emitter)의 실효방사전력 [W]

G : EMI/RFI 방출기(emitter) 안테나의 Gain (Worst case로 G는 1로 가정)

E : 설치지점에서 EMI/RFI 방출기의 허용 방사전기장 세기 [V/m]

○ EMI/RFI 관련시험

원전내 EMI/RFI 영향을 최소화하기 위하여 전자기기 설치전후에 기기제작자 및 발전사업자가 수행하는 관련시험에는 다음의 3가지가 있으며, 개략적인 내용을 소개하면 다음과 같다.

-Generic Plant Emission Test

- EPRI-TR-102323에 기술한 내용과 같이 민감도 시험레벨의 적용가능여부를 확인하기 위하여 원전내 임의의 한 지점에서 수행하는 시험임.
- EPRI/NRC에서 권고하는 민감도 시험레벨이 특정 원전에 적용가능한지 여부를 확인할 목적으로 실제 EMI발생이 예상되는 원전의 여러지점에서 실측하여 기기들의 전자기 적합성(EMC)이 보장되고 있음을 확인함.

-Equipment Susceptibility Test

- EMI에 민감한 영향을 받는 기기들의 전자기환경에 대한 내성(Immunity)시험으로서 EMI에 대처하기 위하여 수행하는 시험임.
- 기기 내성은 가동되는 기기가 허용오차범위내에서 오동작과 기능저감을 발생시키지 않는 특성을 의미함.

-Equipment Emission Test

- EMI 발생원에 해당하는 기기 또는 케이블에 대하여 EMI 방출을 기준치 이하로 제한하기 위하여 수행하는 시험임.

4. 무선통신설비의 실효성

원전내부는 두꺼운 철근콘크리트 옹벽을 기본구조로 다수의 층으로 되어있고, 각층은 철근 콘크리트벽으로 구분된 각종 기능실로 구성되어있다. 이와같은 원전내 전파의 전파특성은 콘크리트벽의 투과손실에 좌우되며, 이 투과손실은 주파수가 높을 수록 커지는 경향이 있다. 국내 대부분의 원전은 비상대응 구성시설중 소외 비상대책운영실(Emergency Operations Facility)을 제외하고는 모두 격납건물과 인접한 보조건물, 출입통제건물에 배치되어 있다.

비상대응시설중 하나인 주 제어실은 격납건물과 인접한 보조건물 지상층에 있으나 다수의 I&C 설비 및 컴퓨터가 밀집 배치되어 있고, 현재까지는 무선통신설비를 사용하는 국외의 상당수 원전에서도 사용을 제한하고 있는 실정임을 고려할 때, 무선통신설비를 도입하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다.

비상대책운영실의 경우는 대부분 발전소로부터 상당거리 이격되어 있고, 시설내에 안전인자 상태표시계통(SPDS) 이외에는 계장설비들이 배치되어 있지 않으므로 무선통신설비의 사용을 허용하더라도 무방할 것으로 판단된다.

기술지원실(Technical Support Center), 운영지원실(Operational Support Center)은 시설 내부 및 인접지역의 기기배치환경 등을 고려, 실내안테나 및 전자파 차단장치 등을 조합할 경우, 무선통신설비의 사용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 주 제어실내에 있는 운전원과 다른 비상대응시설간에 무선통신이 가능하지 않고, 원전의 각 구역에서 보수작업 등을 수행하는 보수요원들과의 무선통신이 가능하지 않은 상태에서는 실효성에 많은 한계가 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

원전의 비상대응시설인 주 제어실, 기술지원실, 운영지원실, 소외 비상대책운영실등에 무선통신설비를 적용하기 위하여는 본 설비를 적용함에 따른 원전내 주요 계장기기에 전자파가 미치는 영향, 즉 EMI/RFI (Electromagnetic Interference/Radio Frequency Interference)

에 대한 영향 평가 등이 주로 고려하여야 할 인자로 나타났다. 국내외 원전에서의 무선설비 사용사례를 조사한 결과, 현재로서는 주제어실과 같이 원전의 안전성과 관련이 있는 계장기나 컴퓨터가 밀집되어 있는 지역에서는 그 사용을 제한하는 것이 타당하며, 이에 따라 원전내의 비상대응시설간의 무선통신 효용성은 상당히 제한적인 것이 될 것으로 예상된다. 무선통신설비의 효용성은 원전 전지역에 대하여 제한적으로 그 사용을 허용하는 개념이 아니라 전면적으로 허용하되 일부지역에서 그 사용을 제한하는 적극적인 입장을 취할 때, 극대화될 수 있다. 최근들어 무선통신설비 사용에 따른 EMI/RFI 영향 등과 관련한 미국 NRC의 Regulatory Position이 Reg. Guid 1.180으로 정해진 상태이므로 본 분야와 관련한 연구개발활동이 더욱 활발하게 전개될 것으로 예상된다.

[참고문헌]

1. 한전, “차세대원전 무선통신계통 적용성 검토보고서”, TM95ZJ1616.P1999.379, 1999.7.
2. SWEC, “Wireless Communication System”, SWEC-E-50, 1998.12.
3. 한전, “발전제어설비 전자파 영향성 평가시험 기술지원보고서(삼천포화력)”, TM.T04.S2002.110, 2002.5.
4. USNRC, "Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-frequency Interference in Safety-related Instrumentation and Control Systems", Reg. Guide 1.180, 2000.1.
5. USNRC, "Functional Criteria for Emergency Response Facilities", NUREG-0696, 1981.2
6. USNRC, "Clarification of TMI Action Plan Requirements", NUREG-0737, 1980.11.
7. 지문구외 2인, “차세대원전 무선통신계통 설계요건 개발”, ‘99년 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, 1999.10.