

## 원자력발전소 안전을 위한 전자파장해 검증 규제지침 분석

박재윤\* · 안인범\* · 김재현\*\* · 주재울\*\*\*†

# Analysis of Regulatory Guidance on Electromagnetic Interference of Equipment for Safety of Nuclear Power Plants

Jae Yoon Park\* · In Beom Ahn\* · Jaehyun Kim\*\* · Jaeyul Choo\*\*\*†

### †Corresponding Author

Jaeyul Choo

Tel : +82-54-820-5424

E-mail : jychoo@anu.ac.kr

Received : May 31, 2022

Revised : August 11, 2022

Accepted : August 22, 2022

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

**Abstract** : This study analyzes the contents of the second revised Regulatory Guide 1.180 (Revision 2) for electromagnetic compatibility qualification published by the U. S. Nuclear Regulatory Commission by comparing them with those of the previous version. The methods and acceptance criteria of both CE101 and CE102 tests pertaining to conductive emission and RE102 test for radiation emission are observed to have been modified in Revision 2. Furthermore, the revised guide is found to afford flexibility in using alternative methods for electromagnetic interference qualification by allowing the combination of different technical base standards.

**Key Words** : nuclear power plant, electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, acceptance criterion

## 1. 서론

최근 디지털 기술의 발달로 인하여 원자력발전소(원전)에 다양한 디지털 계측제어 및 전력 설비들이 도입되고 있다. 원전에 안전기능과 관련된(안전관련) 디지털 계측제어설비를 도입하기 위해서는 설치 환경에서의 설비 건전성이 환경검증 시험으로 검증되어야 한다. 이러한 환경검증 중 전자파적합성(electromagnetic compatibility(EMC)) 검증은 설비가 설치될 전자파환경에서 해당 안전관련 설비의 건전성을 보장하기 위해서 필요하다.

EMC 검증시험은 인접한 설비에 대한 대상기기의 전자파방출 수준을 측정하는 전자파장해(electromagnetic interference(EMI)) 시험과 EMI 환경에서 설비의 취약성을 평가하는 전자파취약성(electromagnetic susceptibility(EMS)) 시험으로 구성된다. 이러한 EMC 검증을 기술적으로 이해하기 위해서는 EMC 검증의 시험방법, 허용기준, 관련 기술기준 및 연구자료를 충분히 이해해

야 한다. 특히, 원전분야의 경우 EMC 검증에 관한 규제지침을 이해하는 것이 필요하다.

국내의 경우, 원전 안전관련 설비의 EMC 검증은 한국원자력안전기술원의 규제지침 KINS/RG-03.09에 규정된 시험방법과 허용기준에 따라 수행되어야 한다<sup>1)</sup>. 미국의 경우, 미국 원자력규제위원회(U.S. Nuclear Regulatory Commission(NRC))가 발행한 규제지침 Regulatory(Reg.) Guide 1.180에 부합되게 원전 설비의 EMC 검증이 수행되어야 한다<sup>2)</sup>. 근래에 미국 NRC는 Reg. Guide 1.180의 개정2판을 발행하였으며, 해당 규제지침에서는 EMC 검증시험의 방법과 허용기준 등이 개정된 참조문헌을 기반으로 일부 수정되었다<sup>3)</sup>. 따라서 원전에 적용되는 EMC 검증의 기술력 향상을 위해서는 Reg. Guide 1.180 개정2판의 개정사항을 분석하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 Reg. Guide 1.180 개정2판의 개정내용에 대해서 분석하였으며, 특히, EMI 검증과 관련하여 주요하게 설명하였다.

\*안동대학교 전자공학과 학사과정 (Department of Electronic Engineering, Andong National University)

\*\*안동대학교 정보통신공학과 교수 (Department of Information and Communication Engineering, Andong National University)

\*\*\*안동대학교 전자공학과 교수 (Department of Electronic Engineering, Andong National University)

## 2. EMI의 검증 규제지침 개정

Reg. Guide 1.180은 EMI 및 EMS 검증의 시험방법과 허용기준을 수립하기 위해서 미국 국방표준 MIL-STD 461<sup>4)</sup>과 그 외 다양한 기술기준 및 연구자료를 참조하고 있다. Table 1은 Reg. Guide 1.180 개정2판에서 개정된 기술기준 및 연구자료들의 목록을 보여준다<sup>2,3)</sup>. Table 1에서 제시된 것과 같이, Reg. Guide 1.180 개정2판에서는 기존에 준용된 기술기준 MIL-STD 461, IEC Std. 61000-3, 4, 6<sup>5-7)</sup> 및 IEEE Std. 1050, C62.41.1, C62.41.2, C62.45<sup>8-11)</sup>의 개정판이 반영되었다. 또한, 연구자료 ORNL/SPR-2015/485, ORNL/SPR-2015/254, ORNL/SPR-2016/108이 Reg. Guide 1.180 개정2판의 신규 참고문헌으로 추가되었다<sup>12-14)</sup>.

### 2.1 MIL-STD 기반의 EMI 시험 개정

EMI 시험에서는 시험대상 기기(equipment under test (EUT))로부터 방출되는 EMI 수준을 측정하며, 측정된 EMI 수준이 허용기준 이내임을 확인한다. EMI 시험은 전자파장해원이 유기되는 방식에 따라 전도 방출(conducted emissions(CE))과 방사 방출(radiated emissions

(RE)) 시험으로 분류된다. 또한, 전도 방출시험은 전자파장해원의 주파수 대역에 따라 저주파 방출시험과 고주파 방출시험으로 세분화된다. 반면에 방사 방출시험의 경우, 방사성 전자파장해원의 전자계 특성에 따라 전계 방출시험과 자계 방출시험으로 구분된다.

Reg. Guide 1.180 개정2판의 EMI 시험 개정사항을 검토한 결과, 저주파 범위의 전도 방출시험(CE101 시험), 고주파 범위의 전도 방출시험(CE102 시험), 전계 방사 방출시험(RE102 시험)의 내용이 변경되었음을 확인하였다. Table 2는 Reg. Guide 1.180 개정2판의 EMI 시험에 대한 개정사항을 개정1판과 비교하여 보여준다<sup>2,3)</sup>. Table 2에 제시된 것과 같이, CE101 시험은 면제조건과 완화조건에 대해서 개정되었으며, CE102 시험의 경우 시험주파수 범위, 면제조건 및 고주파 대역에 대한 대체 시험방법이 개정되었다. 또한, RE102 시험의 경우, 시험주파수의 범위가 확대되도록 개정되었다. 반면에 자계 방사 방출시험(RE101 시험)은 개정된 사항이 없는 것으로 확인되었다.

#### 2.1.1 저주파 범위의 전도 방출시험(CE101 시험)

CE101 시험은 30 Hz ~ 10 kHz의 주파수 범위(교류

Table 1. Comparison of the technical bases between revisions 1 and 2 of Reg. Guide 1,180

Technical standards		Reg. Guide 1.180(Rev. 1)	Reg. Guide 1.180(Rev. 2)
Documents of technical standards	MIL-STD	- MIL-STD 461E	- MIL-STD 461G <sup>4)</sup>
	IEC-STD	- IEC-STD 61000-3, Part 3(2001) - IEC-STD 61000-4, Part 4(1998) - IEC-STD 61000-6, Part 6(1997)	- IEC-STD 61000-3, Part 3(2017) <sup>5)</sup> - IEC-STD 61000-4, Part 4(2012) <sup>6)</sup> - IEC-STD 61000-6, Part 6(2011) <sup>7)</sup>
	IEEE Std.	- IEEE Std. 1050(1996) - IEEE Std. C62.41(1991) - IEEE Std. C62.45(1992)	- IEEE Std. 1050(2004) <sup>8)</sup> - IEEE Std. C62.41.1(2002) <sup>9)</sup> - IEEE Std. C62.41.2(2002) <sup>10)</sup> - IEEE Std. C62.45(2002) <sup>11)</sup>
Technical reports		- N/A	- ORNL/SPR-2015/485 <sup>12)</sup> - ORNL/SPR-2015/254 <sup>13)</sup> - ORNL/SPR-2016/108 <sup>14)</sup>

Table 2. Comparison of EMI test amendments

Test and condition		Reg. Guide 1.180(Rev. 1)	Reg. Guide 1.180(Rev. 2)
CE101	The conditions for exemption	The power quality requirements of the equipment are consistent with the existing power supply	The power quality requirements of the equipment are consistent with the existing power supply and design changes include power quality controls
	The conditions for relaxation	For AC-operated equipment with a fundamental current greater than 1 ampere, the envelopes may be relaxed as $20\log_{10}(\text{fundamental current})$	N/A
CE102	Test frequency range	10 kHz ~ 2 MHz	10 kHz ~ 10 MHz
	The conditions for exemption	Conduct of the CE102 test in the frequency range 10 kHz to 450 kHz may be omitted if the nuclear power plant has power quality controls in place (see the conditions for omission of the CE101 test)	Conduct of the CE102 test in the frequency range 10 kHz to 150 kHz may be omitted if the nuclear power plant has power quality controls in place (see the conditions for omission of the CE101 test)
	Alternative test of high frequency bands	FCC Class A certification is acceptable (450 kHz ~ 2 MHz)	N/A
RE102	Test frequency range	2 MHz ~ 1 GHz	2 MHz ~ 10 GHz

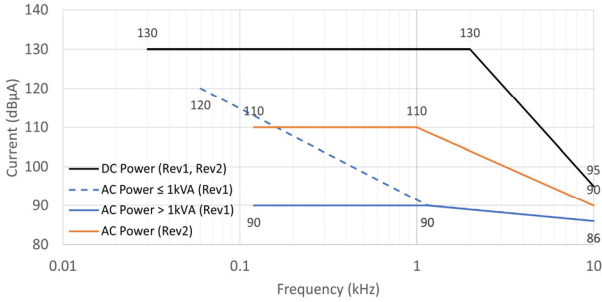


Fig. 1. Acceptable criterion for CE101 test.

전력선의 경우, 두 번째 고조파 주파수부터 적용)에서 기기나 부속계통의 교류 및 직류 전력선(접지 및 중성선 포함)으로부터 전도되는 전류 방출 수준을 측정하는 시험이다. EUT가 CE101 시험에서 합격하기 위해서는 EUT의 전도 방출 세기가 허용기준(허용 실효 전류값)을 초과해서는 안 된다.

Fig. 1과 Table 2는 Reg. Guide 1.180 개정2판의 개정된 허용기준과 개정사항을 각각 요약하여 보여주고 있다. Table 2에 제시된 것처럼 개정2판에서는 CE101 시험의 면제조건으로 “전력품질관리가 설계변경에 포함될 경우”가 추가되었다. 또한, 기존에 1 A 이상의 교류 전력선에 적용하던 허용기준 완화조건(20log10(기본파 전류)만큼 완화)이 개정2판에서는 삭제되었다. 따라서 추가된 면제조건과 삭제된 완화조건을 고려하였을 때, Reg. Guide 1.180 개정2판에서는 CE101 시험이 보수적으로 개정되었다고 판단한다.

CE101 시험의 허용기준에 대한 개정내용을 살펴보면, 직류 전력선에 적용되는 허용기준은 변경되지 않았으나, 교류 전력선에 적용되는 허용기준이 개정되었다. 즉, 교류 전력선에 대한 허용기준을 전력용량(1 kVA)에 따라 나누어 적용하던 것에서 전력용량에 상관없이 단일한 허용기준을 적용하는 것으로 변경되었다. Fig. 1에서 제시된 것 같이 파란색 점선과 실선으로 구성된 개정 1판의 허용기준이 주황색 실선의 개정2판의 허용기준으로 개정되었다. 따라서 교류 전력선에 대한 허용기준 변경사항을 고려하였을 때, CE101 시험은 EUT를 보다 일관된 기준으로 평가할 수 있게 개정되었다고 판단한다.

### 2.1.2 고주파 범위의 전도 방출시험(CE102 시험)

CE102 시험은 10 kHz ~ 10 MHz의 주파수 범위에서 기기나 부속계통의 교류 및 직류 전력선(접지 및 중성선 포함)으로부터 전도되는 전압 방출 수준을 측정하는 시험이다. EUT가 CE102 시험에서 합격하기 위해서는 EUT의 전도 방출 세기가 Fig. 2의 허용기준(허용

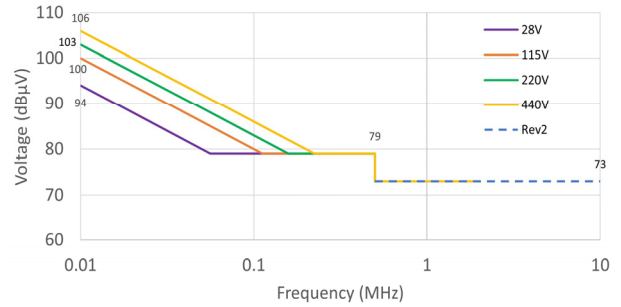


Fig. 2. Acceptable criterion for CE102 test.

실효 전압)을 초과해서는 안 된다<sup>2,3)</sup>.

Table 2와 Fig. 2는 Reg. Guide 1.180 개정2판에 기술된 CE102 시험의 개정된 허용기준과 개정사항을 보여준다. Table 2와 Fig. 2에 제시된 것과 같이, 시험주파수 범위가 10 kHz ~ 2 MHz에서 10 kHz ~ 10 MHz로 확장되었으며, 면제가 가능한 주파수 범위가 10 kHz ~ 450 kHz에서 10 kHz ~ 150 kHz로 감소되었다. 또한, 기존에 허용한 대체시험(FCC 등급 A인증과 CISPR 11 등급 A인증)이 일부 삭제되었다. CE102의 개정내용을 검토한 결과, 확장된 시험주파수 범위, 축소된 면제 시험주파수 범위, 폐지된 대체시험을 고려하였을 때, Reg. Guide 1.180 개정2판에서는 CE102 시험이 다소 보수적으로 개정되었다고 판단한다.

### 2.1.3 전계 방사 방출시험(RE102 시험)

RE102 시험은 2 MHz ~ 10 GHz의 주파수 범위에서 기기나 부속계통의 외함과 모든 연결선에서 방사되는 전계 방출 수준을 측정하는 시험이다. EUT가 RE102 시험을 합격하기 위해서는 EUT의 전계 방출 세기가 허용기준을 초과해서는 안 된다.

Fig. 3은 Reg. Guide 1.180 개정2판의 개정된 허용기준을 도식화하여 보여주며, Table 2에는 이에 대한 상세내용이 요약되었다<sup>2,3)</sup>. Table 2에 제시된 것과 같이, Reg. Guide. 1.180 개정2판에서는 최대 시험주파수가

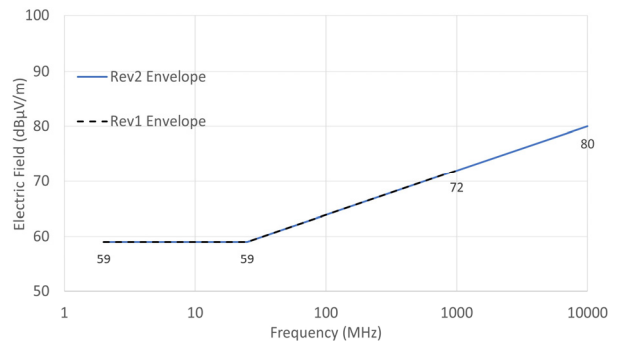


Fig. 3. Acceptable criterion for RE102 test.

Table 3. Amendments to radiated emissions envelopes of IEC-STD 61000-6-4

Frequency range	Test level(dB $\mu$ V/m)	
	Reg. Guide 1.180(Rev. 1)	Reg. Guide 1.180(Rev. 2)
30 MHz ~ 230 MHz	30 quasi-peak at 30 m	40 quasi-peak at 10 m
230 MHz ~ 1 GHz	37 quasi-peak at 30 m	47 quasi-peak at 10 m
1 GHz ~ 3 GHz	N/A	76 peak at 3 m
3 GHz ~ 6 GHz	N/A	80 peak at 3 m

Table 4. Alternatives for EMI qualification

	Reg. Guide 1.180(Rev. 1)	Reg. Guide 1.180(Rev. 2)
If the exemption conditions of the low frequency emission tests (CE101, CE102, RE101) are met	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alternative 1: Perform MIL-STD CE102 (450 kHz to 2 MHz), RE102 tests.</li> <li>- Alternative 2: Perform emission tests based on IEC-STD 61000-6-4</li> <li>- Alternative 3: Perform emission tests to satisfy FCC Part 15 Class A requirements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alternative 1: Perform MIL-STD CE102 (150 kHz to 10 MHz), RE102 tests.</li> <li>- Alternative 2: Perform emission tests based on IEC-STD 61000-6-4</li> </ul>
If the exemption conditions of the low frequency emission tests (CE101, CE102, RE101) are not met	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Only CE101, CE102, RE101, and RE102 tests of MIL-STD, which are the basis for EMI emission tests, are allowed.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CE101, CE102 (10 kHz to 150 kHz), RE101 tests are performed with MIL-STD.</li> <li>- Others are performed emission tests based on IEC-STD 61000-6-4 (IEC-STD + MIL-STD)</li> </ul>

1 GHz에서 10 GHz로 상향조정 되었다. 이러한 개정은 최근 고주파 디지털 기기의 활용도가 높아짐에 따라 고주파 기기에 대해 EMI를 검증하기 위한 목적 때문이라고 판단한다. 또한, 확장된 시험주파수 범위를 고려하였을 때, RE102 시험은 다소 보수적으로 개정되었다고 판단한다.

### 2.2 IEC-STD 기반의 EMI 시험 개정

Reg. Guide 1.180은 MIL-STD 461 외에도 IEC 기술표준(IEC-STD)을 EMC 검증시험의 기술기준으로 준용하고 있다. 그러나 IEC-STD의 경우, MIL-STD의 CE101 시험과 RE101 시험에 대응하는 방출시험 기준을 제공하지 않는다는 제약사항을 갖고 있다. 따라서 IEC-STD 기반의 EMI 검증시험은 MIL-STD 기반의 CE102 시험

과 RE102 시험에 대응하는 EMI 시험에 대해서만 대체 시험으로 적용 가능하다. Table 3은 Reg. Guide 1.180 개정2판의 개정된 IEC-STD 61000-6-4 기준 EMI 허용기준을 보여준다<sup>2-3</sup>). Table 3에 제시된 것과 같이, 30 MHz ~ 1 GHz의 주파수 범위에서 EMI의 측정위치(거리)와 허용수준(준-침투값(quasi-peak))이 Table 3과 같이 변경되었다. 그 외, 기존에는 고려되지 않았던 1 GHz ~ 6 GHz의 EMI 검증이 개정2판에는 포함되었다. 이러한 개정은 RE102 시험의 주파수 범위가 확장되도록 개정된 것과 유사한 목적 때문이라고 판단한다.

### 2.3 EMI 시험의 대안

Table 4는 Reg. Guide 1.180 개정1판과 개정2판의 EMI 방출시험의 대안에 대해서 요약하여 보여준다<sup>2,3</sup>).

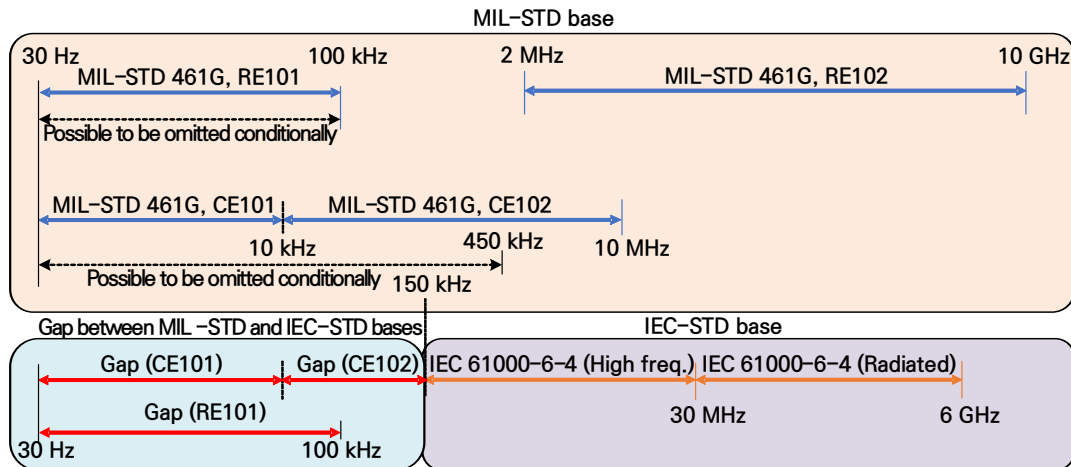


Fig. 4. Test frequency range of EMI tests based on MIL and IEC standards.

IEC-STD 기준의 방출시험을 MIL-STD 기준의 방출시험과 비교하였을 때, IEC는 MIL-STD의 CE101 시험 및 RE101 시험에 대응하는 방출시험이 없으므로, Fig. 4의 ‘Gap between MIL-STD and IEC-STD bases’와 같은 차이점(초록색 영역)이 발생된다<sup>2,3)</sup>. Reg. Guide 1.180은 이러한 기술표준 간의 차이를 고려한 EMI 대체검증 지침을 제공한다.

Table 4에 제시된 Reg. Guide 1.180 개정1판의 대체시험 특징으로는 저주파 방출시험 (CE101, CE102, RE101 시험)의 면제조건이 충족될 경우, 혼용을 금지하는 전제하에서 IEC-STD와 FCC 15편 기준의 EMI 시험을 MIL-STD 기준 EMI 시험의 대체시험으로 허용한 점이다. 반면에 Table 4에 나타난 Reg. Guide 1.180 개정2판의 변경된 대체시험 내용을 살펴보면, 면제되는 CE102 시험의 주파수 범위가 10 kHz ~ 450 kHz에서 10 kHz ~ 150 kHz로 축소 변경되었다. 또한, 대체시험으로 적용되던 FCC 15편 기준은 삭제되었다. 특히, 개정1판과 비교하였을 때, 가장 큰 차이점을 보이는 변경사항은 저주파 방출시험의 면제조건을 만족하지 못하는 경우, MIL-STD 기준의 시험방법과 IEC-STD 기준의 시험방법 혼용을 허용한 점이다.

위의 내용을 종합해보면 개정1판에서는 저주파 방출시험의 면제조건을 만족하는 경우에만 MIL-STD 기준 이외의 대체시험을 허용하였고, 면제조건을 만족하지 못하는 경우에는 다른 기준의 시험방법 혼용을 금지하여, 오직 MIL-STD 기준 시험만을 허용하였다. 그러나 개정2판에서는 MIL-STD 기준의 시험방법과 IEC-STD 기준의 시험방법 혼용을 허용하여, 저주파 방출시험의 면제조건을 만족하지 못하는 경우에도 IEC-STD 기준의 시험을 수행할 수 있게 개정되었다. 이러한 수정사항들을 고려하였을 때, 개정2판에서는 EMI 검증 대체시험이 유연성을 갖도록 개정되었다고 판단한다.

## 2.4 분석결과 활용

EMI 검증을 위한 국내 규제지침으로는 KINS/RG-03.09가 발행되었으며, 해당 규제지침은 Reg. Guide 1.180 개정1판과 동일한 기술적 배경을 갖고 있다. 따라서 미국 NRC가 수행한 규제지침 Reg. Guide 1.180의 개정과 유사하게, 국내 원전 규제기관도 최신 기술기준이 반영되도록 규제지침 KINS/RG-03.09를 개정할 필요가 있다고 판단한다. 다만, 해당 규제지침을 개정할 경우, 국내 원전의 안전과 원전산업의 생태계를 모두 충분히 고려하여, 개정사항의 적용여부를 결정해야 한다. 예를 들어, Reg. Guide 1.180 개정2판에서 삭제된 “CE101 시험의 완화조건”은 대전류를 사용하는 전력

기기의 EMC 검증결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 또한, 기존에 EMC 검증이 완료된 기기에 대해서 개정된 국내 규제지침을 어떻게 반영할지 등에 대한 면밀한 검토 역시 필요하다고 판단한다.

## 3. 결론

본 논문에서는 원전 안전관련 설비의 EMI 검증을 위한 미국 규제지침 Reg. Guide 1.180의 개정사항을 분석하였다. 그 결과, Reg. Guide 개정2판에서 CE101 시험은 시험방법에 있어서는 보수적으로 개정되었고, 허용기준의 측면에서는 완화된 것으로 파악되었다. 또한, 개정2판에서 CE102 시험은 최대 시험주파수의 확대, 면제조건 및 대체시험의 삭제를 고려할 때, 해당 개정은 보수적인 개정인 것으로 판단하였다. 그 외, RE102 시험 및 IEC-STD 61000-6-4 방사 방출시험의 경우, 높은 주파수를 사용하는 디지털 기기의 EMI를 고려하여, 시험주파수 범위가 확장되도록 개정되었다. EMI 대체시험의 경우, EMI 대체검증 시험에 대해서 유연성이 확보되도록 개정되었음을 확인하였다. 최종적으로 본 논문은 분석된 결과로부터 국내 원전 규제지침의 개정 필요성과 EMC 검증이 완료된 기기에 대해서 향후 개정된 규제지침을 어떻게 반영할지 등에 대한 시사점을 제시하였다.

**Acknowledgement:** This work was supported in part by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2021R111A3050649) and in part by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Foundation Of Nuclear Safety (KoFONS) using the financial resource granted by the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) of the Republic of Korea. (No. 2203026).

## References

- 1) Korea Institute of Nuclear Safety, “Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems,” KINS/RG-N03.09, 2019.
- 2) U.S. NRC, “Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems,” Regulatory Guide 1.180 Rev. 1, 2003.

- 3) U.S. NRC, “Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems,” Regulatory Guide 1.180 Rev. 2, 2019.
- 4) U.S. DOD, “Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment,” MIL-STD-461G, 2015.
- 5) IEC Std. 61000-3, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits, IEC, 2017.
- 6) IEC Std. 61000-4, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques, IEC, 2012.
- 7) IEC Std. 61000-6, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 6: Generic Standards, IEC, 2011.
- 8) IEEE Std. 1050, IEEE Guide for Instrumentation and Control Equipment Grounding in Generating Stations, IEEE, 2004.
- 9) IEEE Std. C62.41.1, IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits, IEEE, 2002.
- 10) IEEE Std. C62.41.2, IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V or Less) AC Power Circuits, IEEE, 2002.
- 11) IEEE Std. C62.45, IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V or Less) AC Power Circuits, IEEE, 2002.
- 12) Oak Ridge National Laboratory, “Task 2 – Limits for High-Frequency Conducted Susceptibility Testing – CS114,” ORNL/SPR-2015/485, 2016.
- 13) Oak Ridge National Laboratory, “Task 4 – EMI/RFI Issues Potentially Impacting Electromagnetic Compatibility of I&C Systems,” ORNL/SPR-2015/254, 2015.
- 14) Oak Ridge National Laboratory, “Task 5 – Technical Basis for Electromagnetic Compatibility Regulatory Guidance Update,” ORNL/SPR-2016/108, 2016.