원전내 인화성가스 사용에 따른 방폭기술 적용에 관한 연구

Explosion-proof Technology to Mitigate the Risk of Flammable Gas Explosions in Nuclear Power Plants

조남진* · 홍영성** · 방현욱*** · 조태연**** · 이정임*****

Cho, Namjin*, Hong, Youngsung**, Bang, Hyunwook***, Cho, Teayeon****, and Lee, Junglim*****

Abstract

There are several devices in domestic nuclear power plants that prevent fire explosions when gas leakage occurs, as many explosions occur every year due to flammable gases. Some explosions involving hydrogen have actually occurred in power plants, and caused human and material damage. In fact, flammable liquids and gases are employed for storage, transportation, and various uses in nuclear power plants. Specifically, hydrogen has been used extensively in seawater electrolysis plants, for power generation in batteries, cooling turbines, and removing dissolved oxygen. Hydrogen has a very wide explosion range (4-75%), and it can be an ignition source even with a very small current in the circuit. Therefore, explosion-proof electrical equipment is installed and operated to mitigate the risk associated with this hazard. However, what is more important is to maintain the equipment strictly abiding to domestic and international standards. In this study, various improvements are recommended for these needs, to mitigate the following hazardous situations: some concept recognition in the explosion-proof front, some risk area of the explosion-proof area, explosion-proof equipment some installation, some insufficient of explosion-proof equipment management, and DB construction.

Key words : Explosion Proof Equipment, Hydrogen Explosion, Explosion Range, Ignition Source

요 지

국내 원전 및 산업시설에서 인화성 액체 및 가스로 인한 화재폭발이 매년 발생하고 있으므로, 가스 누출 시 화재폭발을 방지하기 위해 폭발방지 기기가 설치되어 있다. 실제로 일부 발전소에서는 수소 폭발로 인해 인적 및 물적 피해가 있었다. 그런데 원전에는 인화성 액체 및 가스를 저장, 이송, 사용 등을 목적으로 활용하고 있다. 특히, 수소는 해수전해설비 및 축전지실에서 생성, 터빈을 냉각, 용존산소 제거 등 폭넓게 사용되고 있다. 수소는 폭발범위가 4-75%로 매우 넓고, 매우 작은 전류로도 점화원이 될 수 있다. 따라서 비상시 화재폭발의 위험성이 존재하므로 방폭기기를 설치하고 운영 중에 있으며, 이에 대해 국내외 기준을 적용한 유지관리의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 방폭기기에 대해 인증서류 조사, 현장조사 등을 통해 방폭에 대한 일부 개념 인식 필요, 일부 방폭위험지역도의 작성 필요, 방폭기기의 일부 설치 필요, 방폭기기의 일부 관리 필요, 방폭의 일부 설치 규정 필요, 방폭기기의 DB 구축 필요 등에 대해 개선을 권고한다.

핵심용어 : 방폭기기, 수소폭발, 폭발범위, 점화원

*정회원, 공학박사, (주)한국발전엔지니어링(E-mail: cnj7924@hanmail.net)

Member, Ph.D, CFEL, EEHA, Korea Power Engineering

** (주)한국발전엔지니어링 국제방폭전문가(E-mail: david.ysh@imagessafety.org)

IECEX, EEHA, Korea Power Engineering

*** (주)한국발전엔지니어링 소방전문가(E-mail: gusnrl75@naver.com)

Fire Protection Engineer, Korea Power Engineering

**** (주)한국발전엔지니어링 전기기술자(E-mail: supercore7922@gmail.com)

Electrical Engineer, Korea Power Engineering

***** 교신저자, 정회원, (주)한국발전엔지니어링(Tel: +82-70-4667-3845, Fax: +82-70-8282-3857, E-mail: freshjl@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Nuclear Specialist, Korea Power Engineering

1. 서 론

후쿠시마원전의 수소 폭발로 인해 일본 내부에 인적, 물질, 환경적 피해가 발생하였고, 주변국들을 비롯해 국제사회에 현재까지도 심각한 환경오염이 계속되고 있다. 만일 이러한 대재난이 국내원전에서도 발생한다면 그 피해는 상상을 초월할 것이다. 물론, 국내 원자력발전소는 안전성을 최우선으로 설계, 제작, 설치, 검사, 유지관리 등을 수행하고 있어 유사한 피해가 발생하지 않을 것으로 여겨지고 있다. 그러나 원자력발전소는 폭발의 위험이 매우 강한 수소가스를 생성, 저장, 운송, 냉각 등에 사용되고 있으며, 유해화학물질이며 폭발성이 강한 암모니아 및 비상시 전원을 공급하기 위해 비상디젤발전기의 연료로 사용되는 연료유를 저장, 운송, 사용하는 시설이 존재한다. 중대사고 시 인화성 기체 및 액체의 누설과 유증기가 발생할 수 있는 환경이므로, 화재폭발에 대비하기 위해 방폭기기의 설치, 점검, 유지관리가 절대적으로 필요하다.

특히 강력한 폭발의 위험을 가지고 있는 수소가스의 경우, 중대사고 시 수소가스가 누출됨으로 인해 화재폭발이 발생할 수 있지만, 이러한 경우라도 점화원이 존재하지 않거나 설령 점화원이 존재하더라도 화재전파의 가능성을 배제한다면 연쇄 폭발을 방지할 수 있을 것이다.

국내 원전은 원안위고시, 제2012-22 화재위험도분석에 관한 기술기준과 화재방호 참조 기준인 10CFR50.48 (2007), RG 1.189 (2009), NFPA 70 (2006) 등의 규정을 적용하여 화재에 대비하고 있다. 국내 화력발전소, 산업플랜트는 KS C IEC 60079 (2015), 산업안전보건법, KOSHA Guide (2015) 등을 적용하고 있다. 해외에서는 미국을 제외한 유럽 등의 국가들은 국제기준인 IEC 60079 (2017) 규정을 준수하며 방폭기술 및 기기들을 관리하고 있다. 미국 내 원전 및 산업시설 등은 화재 관련 규정인 NFPA와 방폭 관련 규정인 NEC를 별도로 적용하였으나 최근에는 NFPA 70에서 NEC와 IEC 규정을 받아들여 적용하고 있으나 국내 원전은 일부 신규원전만 개정된 NFPA 규정을 적용하고 있다.

국내의 화재폭발 사례는 Table 1 및 Fig. 1과 같으며 인화성 액체 및 가스로 인한 화재폭발 사고가 빈번하게 일어나고 있다.

Table 1. Domestic and Foreign Fire Explosion (Example)

	Industrial facility	Explosion
Oversea	Ford Rouge Complex Power Plant	H ₂
Oversea	Tampa Electric(TECO) Generator	H ₂
Domestic	Boryeong Thermal Power Plant	H ₂
Domestic	Hanul Nuclear Power Plant	H ₂
Domestic	Hanwha Chemical Ulsan2 Factory	Gas
Domestic	Star Chemical Gumi Plant	Gas
Domestic	KEPCO Nuclear Fuel co.kr	Dust
Domestic	Fortune Thermal Power Plant	Dust

Fig. 1. Oversea and Domestic Explosion (Example)

2. 연구 내용

2.1 목적

국내 원전 내 설치된 방폭기기는 다양한 건축물 내부에 인화성 액체 및 가스들이 생성, 저장, 이송, 냉각 등으로 사용되고 있으며, 화재폭발을 방지하기 위해 등기구, 콘센트, 스위치, 정온식 열감지기, 불꽃감지기, 전송기, 크레인 전기 패널, 가스감지기 등 다양한 방폭기기가 설치되어 있다. 하지만 방폭 관련 기술기준의 적용 미흡과 유지관리 미흡으로 부식, 명판 손실, 방폭 인증서류 미보유, 유지관리 프로그램 미흡, 방폭지역구분도에 맞지 않는 방폭기기 사용 등 다양한 내용들이 발견되었으며 시급하게 개선해야 할 사항은 방폭기기 담당자들의 방폭 관련 규정 및 기술 습득을 통한 유지관리이다.

본 연구의 가장 중요한 목적은 화재폭발로부터 원전의 안전과 인명의 안전을 보호하고 궁극적으로는 국민 및 지역 주민들의 불안을 해소하기 위함이다.

2.2 연구 범위 및 방법

2.2.1 연구 범위

국내 일부 원전 중 방폭기기가 설치되어 운영중에 있는 발전소를 대상으로 하였으며, 인화성 액체 및 가스의 생성, 저장, 이송, 사용되는 건물과 계통을 중심으로 다음과 같이 선정 하였다.

- ① 터빈을 냉각시키고, 1차측 Volume Control Tank (VCT)로 수소를 공급하기 위한 수소저장실
- ② 용존산소를 제거하고 부식을 방지하기 위해 수소를 공급하는 수소저장고
- ③ 보조건물, 터빈건물의 안전 및 비안전 관리구역에 설치되어 비상시 전원을 공급하는 축전지실에서 발생하는 수소가스
- ④ 해수전해시설내 바닷물을 끌어들여 화학분해하고 생성된 차염소산나트륨과 수소가스
- ⑤ 지진이나 설계기준사고(DBA) 시 비상전원을 공급하는 비상디젤발전기(EDG) 및 대체교류발전기(AAC DC)를 기동하며, 가동시 사용되는 연료유를 저장하는

연료유 저장실 및 일일 연료유저장실

- ⑥ 화재시 진압을 위해 구동되는 화재방호펌프실 및 연료유저장실
- ⑦ 보조보일러실에서 사용하는 연료유저장소
- ⑧ 유해화학물질이며 화재폭발의 위험이 있는 암모니아 등

2.2.2 연구 방법

국내 일부 원전 내 방폭기기들에 대해 샘플로 국내의 기술기준을 적용하여 현장입회, 방폭인증서류 검토 등을 통해 조사하였다. 국내 일부 원전에 대한 조사방법은 국내외 관련 규정인 IEC (국제), NEC (미국), KS C (한국), KOSHA Guide (한국), NFPA (미국), 10CFR50.48 (미국), RG 1.189 (미국), 산업안전보건법 등 방폭 관련 규정들을 적용하여 현장입회를 수행하였고, 일부 제출받은 방폭 관련 품질서류 또는 인증서류들을 검토하였다. 또한 원전의 방폭 관계자들과 회의를 통해 전반적인 현황을 파악하였다.

국내의 원전들은 국제기준인 IEC 규정을 받아들여 적용해야 하며, 국내는 KS C IEC 60079-17 4.3.2항에 따라 육안검사를 해야 한다. 본 연구에서는 여러 구역에 설치된 다양한 방폭기기들에 대해 샘플로 육안점검과 인증서류 검토만 수행하고 정밀조사는 이루어지지 않았다. 그 이유는 일반적으로 정밀조사는 전원이 꺼진 상태에서 진행되어야 하며, 설치된 모든 방폭기기들의 인증서가 구비되어야 하는 어려움이 있다.

2.2.3 원전내 설치된 방폭기기 종류

국내 원전에 설치된 방폭기기는 (a) 피난유도지시등, (b) 정온식 열감지기, (c) 스위치, (d) 리셉타클, (e) 크레인 패널, (f) 전기패널, (g) 가스 감지기, (h) 등기구 등으로 Fig. 2와 같으며, 수소가스 저장 및 연료유저장소에 설치되어 점화원으로부터 화재폭발을 방지한다.

2.2.4 원전내 인화성 가스

인화성 물질인 수소가스의 연소범위 및 최소 착화에너지는 Table 2와 같다. 수소는 하한과 상한의 범위가 4~75%로 아세틸렌 다음으로 넓으며, 최소 착화에너지는 0.011 mJ로 가장 낮아 화재폭발의 위험성이 가장 높다. Table 3은 가스별 등급으로 수소는 IIC 등급이며, 원전 내 설치된 (a) 축전지에서 수소가스 누설 및 (b) 수소가스 저장실은 Fig. 3과 같다.

2.2.5 원전 내 인화성 액체

국내 원전에 저장, 이송, 사용되는 인화성 액체인 연료유의 인화점 및 운전온도는 Table 4와 같으며, Fig. 4는 대체교류발전기(AAC DG) (a) 비상디젤발전기 연료유 저장 탱크 및 (b) 일일 연료유 저장 탱크이다.

Fig. 2. Explosion-proof Equipment (Sample)

Table 2. Combustion Range and Minimum Ignition Energy

Matter	LFL (%V)	UFL (%V)	MIE (mJ)
Methane	5.0	15.0	0.28
Propane	2.0	9.5	0.25
Butane	1.5	8.5	0.25
Ethylene	2.7	34	0.07
Acetylene	1.5	100	0.017
Hydrogen	4.1	74	0.011
MEK	1.8	11	0.27

Table 3. Gas Classification Table

Risk Factor	North America	International
	NEC	IEC, KSC, KOSHA
	Article 500/505	IEC 60079-0
Acetylene	A or IIC	IIC
Hydrogen	B or IIC	IIC
Ethylene	C or IIB	IIB
Propane	D or IIA	IIA
Butane	Group D or I	I

(a) Class 1E Battery

(b) H₂ Gas Storage

Fig. 3. H₂ Gas Leakage & Storage (Sample)

Table 4. Flammable Liquid Properties

Diesel Fuel Oil °C				
Boiling point	Fresh point	Storage area	Ambient Temp.	Operating Temp.
200 ~ 350	45	Class 1E Diesel Fuel Oil Storage Tank Room	10 ~ 40	50
		Non-1E Diesel Fuel Oil Tank Room	10 ~ 40	48.8
		Class 1E Diesel Fuel Oil Day Tank Room	4.4 ~ 50	50
		Non-1E Diesel Oil Day Tank Room	4.4 ~ 50	50
		Fire Pump Fuel Oil Day Tank Room	4.4 ~ 50	50

(a) Fuel Oil Storage Tank

(b) Fuel Oil Day Tank

Fig. 4. AAC DG Diesel Fuel Oil Storage Tank (Sample)

2.3 분석

2.3.1 원전내 수소가스 영향 분석

수소가스는 폭발범위가 넓고, 적은 전류에도 점화원이 될 수 있으므로 정상상태 보다 비정상 또는 비상상태에서 화재폭발이 일어나지 않도록 하는 것이 필요하다. 정상운전시 터빈, 해수전해시설, 용존산소제거시설의 경우에는 저장시설의 높이가 높고 넓으며, 공조설비를 통해 급기와 배기가 이루어지고 있어 수소가스로 인한 폭발 가능성이 희박하고, 누설된 가스의 제거가 가능하고, 기기들이 비안전등급이며, 안전등급 기기에 영향을 미칠 가능성이 없다고 주장할 수 있다. 하지만 중대사고 시 예측 가능한 시나리오는 다음과 같다.

- ① 전력상실로 인해 공조설비의 작동이 이루어지지 않아 수소가스의 배출이 불가능
- ② 수소가스 폭발을 예측하여 안전해석이나 평가가 미흡
- ③ 화재폭발 시 주변건물이나 안전등급 기기에 미치는 영향분석 미흡

수소가스는 비중이 1보다 적어 천장에 쌓이며 등기구에 의해 점화되어 화재폭발이 발생할 가능성이 있다. 안전등급 축전지실에서 화재폭발이 발생하면 비상전력이 공급이 되지 않아 원자로의 안전정지 기능이 상실되어 대규모 사고가 발생할 가능성이 있다. VCT 라인에서 수소가 누설되면 화재폭발시 주변 안전등급 기기들에 영향을 미칠 수 있고, 비안전등급 구역에서 화재폭발시 영향이 어느 정도 예측이 되는지 명확한 실증실험이 이루어지지 않아 단순히 판단하기는 불가능하며 일부 발전소에서는 다음과 같은 경우를 고려하여 방폭기기를 설치했거나 설치를 계획하고 있다.

- ① 방폭형 가스감지기 설치: 화력발전소에서 수소가스로 인해 화재폭발 사고가 발생하여 인명사고가 있었다. 국내 일부 원전은 설계변경을 통해 방폭형 수소감지기를 설치하였다.
- ② 수소는 공정안전관리계획서(PSM) 작성 대상이나 원전은 예외대상으로 분류되어 있다. 예외대상으로 분류된 것은 타 산업과 동등 또는 동등 이상으로 설치, 점검, 유지관리 등을 하는 요구조건이나 현재 국내 원전은 수소 관련 지역의 방폭기기에 대해 미설치, 부식 등 노후화, 주기점검 등 유지관리 미흡 등이 조사되어 원전은 전반적으로 설치를 검토 중에 있다.
- ③ 축전지실 내 방폭기기들은 등기구, 콘센트, 감지기 등을 위주로 설치되어 있으나 글랜드 케이블(연결부위), Conduit, 피팅류 등은 방폭타입으로 설치되지 않고 점검도 미흡하므로 이에 대한 추가 조사를 검토 중에 있다.
- ④ 용존산소제거시설은 방폭형 압력전송기(Rosemount 1151, EEx ia IIC T5 IP66)를 설치하였고, 해수전해시설은 방폭형 가스감지기(Smart Digital-Process Gas Detector), 모델명(DA-100, 4-20 mA, Ex d IIC T5) 2.5 m에 이동형 캐리어를 설치하여 측정하고 있으나 넓은 구역의 측정이 불가능하고 비중이 낮은 수소가스의 특성을 제대로 파악하지 못한 점검방법을 사용하고 있어 이에 대한 적절성을 검토 중에 있다.

2.3.2 원전내 인화성 액체 영향 분석

국내 원전에 설치된 비상디젤발전기(EDG, AAC DG)는 미국의 NFPA의 규정을 적용하고 있어 2006년을 기준으로 이후부터는 방폭기기의 설치가 필수로 요구되고 있으며, 산업안전보건법, 고용노동부고시 등 국내 관련법에서는 방

폭기기의 설치가 규정되어 있다. 원전은 중요한 국가시설로서 일반 산업시설 보다 안전성을 확보할 필요가 있으며, 다음과 같이 연료유의 특성상 부분적으로라도 방폭기기를 설치하였거나 추가 설치를 고려해야 한다.

- ① 일반적으로 연료유 제작사의 물질안전보건자료(MSDS)에서는 폭발방지 설비를 설치하도록 권고하거나 위험성을 알리고 있다
 - P210: 열, 스파크, 화염, 고열로부터 멀리
 - P241: 폭발방지용 전기, 환기, 조명, 장비를 사용
 - 화재 및 폭발 위험: 증기 또는 가스는 원거리의 발화원으로부터 점화되어 순식간에 확산 될 수 있음, 증기/공기 혼합물은 인화점 이상에서 폭발성이 있음.
 - 물질이 폭발농도 위험이 있는 경우에는 해당 환기장치는 방폭기기를 할 것 등
- ② 국내 일부 원전은 안전성 증진을 위해 설계변경후 방폭기기를 설치하였다
 - 비상디젤발전기 연료유저장실(A, B), AAC DG 연료유저장실 등은 정온식 열감지기, 불꽃감지기, 피난 유도등, 형광등, 나트륨등의 등기구, 콘센트가 방폭기기로 교체 및 설치

2.3.3 분석 종합

- ① 중대사고와 같은 설계기준사고(DBA)를 초과하는 사고를 대비하여 원전의 안전성과 신뢰성을 증진시키기 위해 관련 구역에 폭발방지 기기의 설치가 필요.
- ② KEPIC Code, FP에 배관파단사고에도 평가를 요구하고 있어, 연료유 누설로 인한 화재 및 폭발 가능성을 대비하여 적합한 위치에 폭발방지 기기의 설치가 필요.
- ③ 대체교류발전기(AAC DG)는 연료유저장소 내 방유제(Dike)를 설치하여 전기시설과의 접촉을 금지하고 있으나 비상디젤발전기(EDG)의 경우는 방유제가 설치되어 있지 않아 누설시 각종 전기기계기구들과의 접촉으로 화재폭발 가능성이 존재하므로 폭발방지 기기 또는 방유제의 설치가 필요.
- ④ 원전은 인화성 액체 및 가스로 인한 화재 발생가능성과 방사능 누출 가능성으로 인해 안전성과 신뢰성에 문제가 있을 수 있으므로, 적합한 방폭기기로 교체가 필요.

3. 결 론

본 연구에서, 국내 원전의 방폭기기와 관련하여 현장입회, 자료검토 등을 수행하였다. 국내 원전 내 수소가스의 저장, 공급, 생성, 냉각 등 방폭구역에 대해 샘플로 조사하였다. 가장 중요한 점은 원전의 안전은 아무리 강조하고 실천해도 국민이나 주변지역 주민들이 느끼는 감정에 비해 부족함이 있을 것이다.

국내 원전 사업자는 방폭 관련 규정이나 절차 등을 근거로 설치의 필요 유무를 주장하기 보다는 실제 원전 현장에서 근무하는 원전운영기관, 정비업체, 각종 협력업체 소속 작업자들의 인명 안전에 대해 조금이나마 개선할 사항이 있다면 최우선으로 개선해야 한다. 항상 사건, 사고가 발생하여 인적, 물적 피해가 발생한 이후에 개선사항이나 설계변경 사항들이 제시되는 것은 안타까운 일이다.

국내 원전은 해양플랜트의 방폭기술 만큼의 관심은 아니겠지만 화력발전소나 석유화학플랜트 보다는 동등이상으로 방폭기기들에 대한 안전성과 신뢰성을 유지하기 위하여, 지금은 보다 많은 관심과 주의가 필요할 때이다. 국내 원전의 방폭기술과 관련하여 권고할 내용은 다음과 같다.

- ① 방폭에 대한 일부 개념 인식 필요: 국내 원전의 폭발 위험 주요 구역에 대한 연구결과, 가장 우선적으로 지적될 수 있는 사항은 방폭에 대한 기본 개념 인식이 부족한 점이다. 원전은 교육 부재에 따른 폭발 위험지역에 대한 구분과 설치된 방폭기기의 특징에 대한 이해가 부족한 상태이므로 방폭교육을 최우선적으로 권고함.
- ② 일부 방폭위험지역도의 작성 필요: 방폭기기 설치를 통한 발전소 안전 확보를 위한 첫 번째 단계는 폭발위험지역과 안전지역을 구분하고 방폭위험지역도를 작성하는 것인데, 이 도면이 작성되지 않은 상태이며 발전소 내의 위험성에 대해 파악이 부족한 상태이므로 지역도 작성을 권고함.
- ③ 방폭기기의 일부 설치 필요: 수소 및 연료유 폭발 가능성이 있는 위험지역에 점화원이 될 수 있는 모든 전기 기기들은 방폭 성능을 갖춰야하는데, 실제로 이를 적용하지 않는 주요 구역들이 발견되었으므로 방폭기기 설치를 권고함.
- ④ 방폭기기의 일부 관리 필요: 기존에 설치된 방폭기기들의 경우, 그 특징을 나타내는 명판이 제대로 부착되어 있지 않거나 판독이 어려운 상태로 부착된 경우가 있고, 관리 부실로 보이는 부식 상태가 다소 발견되었다. 또한, 방폭기기에 필수적인 인증서도 많은 기기의 경우 구비되지 않은 상태이므로 유지관리를 권고함.
- ⑤ 방폭의 일부 설치 규정 필요: 방폭기기는 단독으로 설치되는 경우보다 연결되는 피팅류(연결부위)까지 모두 규정에 따라 방폭 타입으로 설치 되어야하는데, 대부분 방폭기기의 경우 이러한 규정대로 설치되어 있지 않은 상태이므로 규정준수를 권고함.
- ⑥ 방폭기기의 DB 구축 필요: 현재 설치된 방폭기기들도 체계적인 유지관리가 이루어지고 있지 않다. 향후 방폭기기 미설치 지역에 설치, 노후화 기기의 정비 및 교체, 방폭기기로 설계변경, 방폭기술 관점에서 점검 및 유지관리 등을 체계적으로 관리하기 위한 DB의 구축을

권고함.

- ⑦ 장외영향평가서 검토 필요: 발전소는 유해화학물질인 암모니아 등 저장 및 이송, 사용 시설에 대해 장외영향평가서를 작성한다. 작성된 평가서는 화학물질안전원으로 2017년에 제출되었으나 안전원은 아직 검토조차 이루어지지 않아 원전은 화재폭발의 위험성이 존재한다. 장외영향평가서 작성 위탁기관은 원전 계통 및 안전성 평가 경험이 풍부한 기관을 선정하고 배관과단 사고를 적용하여 계통 및 기기 안전해석이 가능도록 권고함.
- ⑧ 방폭 관련 국내법 적용 필요: 일반적으로 원전은 해외 기술기준을 적용하고 있으며, 국내법도 국내 현실에 맞게 적용하고 있다. 하지만 방폭기술은 일부 해외기술만을 적용하고 있어, 국내 원전의 현실을 반영하지 못하고 있다. 산업안전보건법, 고용노동부고시 등 폭발방지 관련 규정들을 원전에 적용하고 화재폭발로 인한 인명 피해를 방지할 수 있다면 국내법도 적용해야 한다. 국내 원전은 자체적으로 산업안전보건 경영매뉴얼, 절차서, 지침서를 개발하여 운영 중에 있으므로 방폭 관련 국내법도 적용을 권고함.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-원자력연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018M2A8A4083765).

References

- 10CFR50.48. (2007). *Fire protection*. NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- IEC 60079. (2017). *Explosive atmospheres - Part 0: Equipment - General requirements*. International Electrotechnical Commission
- KOSHA Guide 60079. (2015). Classification of explosion hazard place.
- KS C IEC 60079. (2015). *Explosive atmospheres — Part 15: Construction, test and marking of type of protection “n” electrical equipment*. Korea Agency for Technology and Standards.
- NEC 505. (2013). *ZONES-designated as AEx*. National Electrical Code.
- NFPA 70. (2006). *National Electrical Code*. National Fire Protection Association.
- RG 1.189. (2009). *Fire protection for nuclear power plants*. Regulatory Guide, U.S. Nuclear Regulatory Commission.

Received	November 8, 2018
Revised	November 13, 2018
Accepted	December 6, 2018