

# 대용량 멀티포트 동시 충전 기반 수소충전소 안전성 평가 연구

조총희<sup>†</sup> · 강승규 · 김부승 · 이경식

한국가스안전공사 가스안전연구원

## Risk Assessment for High Capacity Multiport Hydrogen Refueling Station

CHOONGHEE JOE<sup>†</sup>, SEUNGKYU KANG, BUSEUNG KIM, KYUNGSIK LEE

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong 27738, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author :

Jch1128@kgs.or.kr

Received 4 July, 2023

Revised 12 October, 2023

Accepted 20 October, 2023

**Abstract >>** Hydrogen infrastructure is expanding. High-capacity hydrogen refueling stations offer advantages because they can refuel a variety of light and heavy-duty vehicles, and multi-port refueling technology is developing to reduce charging time for heavy-duty vehicles. In this study, we suggest directions to lower the risk by analyzing the risk factors for each process involved in the installation of a high-capacity multi-port hydrogen refueling station in Changwon city. We conducted both qualitative and quantitative risk assessments of the equipment to evaluate the station. A hazard and operability study was performed for qualitative risk assessment, and PHAST/SAFETI were used for quantitative risk assessment. Quantitative risk assessment was used to calculate the consequence analysis of the facility to ensure secure design prior to station development and to predict individual and societal risks in various scenarios. As a result, the station's risk level was determined to be as low as reasonably practicable.

**Key words :** High capacity multiport hydrogen refueling station(대용량 멀티포트 수소충전소), Risk assessment(위험성 평가), PHAST/SAFETI(위험성 평가 프로그램), Individual risk(개인적 위험도), Societal risk(사회적 위험도)

## 1. 서론

2022년 11월 8일, 제 5차 수소경제위원회 보도 자료를 통해 국내 수소 생태계를 글로벌 청정수소 생태계로 확장하기로 하고 최고 수준의 수소산업 육성을 위해 제도 및 인프라 구축, 기술 혁신, 규제 개선 방안들을 발표하였다. 주요 안건으로는 청정수소 생태계 조성을 위해 대규모 수소 수요 창출의 일환으

로 수소상용차가 2030년까지 3만 대 보급되고, 이와 관련하여 수소충전소 또한 확대 구축될 예정이다. 상용차는 승용차 대비 약 30배 이상 많은 양의 수소를 사용하기 때문에 대규모 수소 수요 창출에 용이하여 정부에서 구매 보조금을 확대하고 지자체 대상 수소버스 충전소 구축 지원 및 시험 사업, 경찰버스 수소버스 전환, 수소버스 취득세 감면 및 고속도로 통행료 감면 연장 등 다양한 제도가 마련된다. 이러한 정

부의 지원으로 올해부터 상용차 기반의 대용량 수소 충전소와 액화 수소충전소가 구축, 확산될 예정이다.

대용량 멀티포트 수소충전소는 많은 양의 수소를 저장하고 여러 차량을 동시에 충전하기 때문에 기존의 수소충전소보다 계획 요소가 많다. 이에 따라 더 큰 위험 요인이 상존하여 안전성을 검증하고자 한다.

## 2. 대용량 수소 충전 시스템 개요

대용량 수소충전소는 수소버스 등 다양한 수소상용차에 수소를 충전하기 위한 것으로 대상 수소충전소는 창원시에 설치되어 동일 압력으로 동시에 수소버스 등 차량에 수소를 충전할 수 있도록 설계되었다. 또한 수소 충전/방전 모사 장치에 충전할 수 있도록 규제 샌드박스 승인을 받아 활용된 수소가 재사용될 수 있도록 시스템을 구축하였다.

본 논문에서는 국내에서 개발되고 있는 대용량 멀티포트 동시 충전 기반 수소충전소를 대상으로 위험성 평가 프로그램을 활용하여 가상의 시나리오를 통한 정량적 위험성 평가(quantitative risk assessment, QRA)를 실시하였으며, 대상 충전소 부지에 관한 정보는 Fig. 1에, 대상 충전소의 개요는 Fig. 2에 나타내었다. 충전소 설계 데이터를 기반으로 각 단위 구성 요소별 위험성 평가를 진행하여 위험 요소를 선정하고 각 위험 요소에 대한 사고 시나리오에 대해 피해 영향 범위를 도출하고 개인적/사회적 위험도를 분석하여 충전소의 위험 수준을 알아보고자 하였다.

대용량 수소 충전 설비는 튜브 트레일러, 저장탱



Fig. 1. High capacity multiport hydrogen refueling station map

크, 압축기 등으로 구성되어 있으며, 주요 구성 요소와 관련된 사고 시나리오는 Table 1에 나타내었다.

## 3. 대용량 수소충전소 사고 시나리오

### 3.1 사고 시나리오 구성

안전 영향 평가 절차는 현장실태조사(data gathering), 위험성 인지(hazard scenario identification), 사고 발생 빈도 분석(frequency analysis), 사고 피해 영향 분석(consequence modeling), 위험의 해석 및 판단(risk calculations), 개선 권고사항 도출(risk reduction) 순으로 진행하였고 안전 영향 평가의 기본 가정사항으로 설비별 누출공 크기는 large leak (파이프 직경의 10% area) 및 압축가스 설비, 수소 저장 설비 파열에 대해 화재 및 폭발 사고가 발생한다고 가정하였다<sup>12)</sup>. 또한 누출 방향은 수평 방향(horizontal upward) 100%로 방출되며 누출 지점은 지상 1 m로 가정하였고 누출 사고 후 차단 조치까지 누출 지속 시간은 수소검지기 검지로부터 발신까지 30초를 기준으로 하였다. 그리고 충전소 주요 설비인 튜브 트레일러, 압력용기, 압축기, 디스펜서를 중심으로 누출 사고 및 최악의 조건인 파열 사고 시나리오 조건을 선정하였다<sup>6,7,8)</sup>.

### 3.2 주변 환경 조건 분석

대용량 수소충전소의 QRA를 위해 점화원 및 주변 환경 조건(온도, 습도, 주변 시설 및 인구 분포 등)을 설정하였다. 기후 조건은 사계절 중 최악의 조건

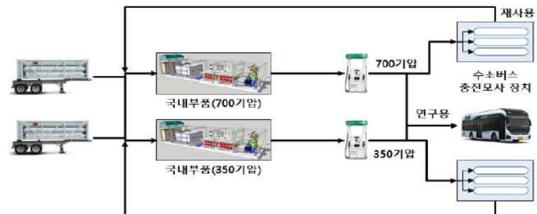


Fig. 2. High capacity multiport hydrogen refueling station

으로 볼 수 있는 여름으로 최근 1년간의 창원 지역 기상 통계 데이터의 풍향 데이터를 참고하였다<sup>1)</sup>.

풍속(1.5 m/s) 및 대기 안정도(Pasquill-Gifford, F), 대기 온도(40°C)를 적용하였고 습도(50%)는 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술 지침(KOSHA GUIDE P-107-2020)에 제시된 조건을 참고하였다<sup>2)</sup>.

평가 대상지는 Fig. 1과 같이 왼쪽에는 경남 테크노파크와 한국자동차연구원 수소모빌리티연구본부가 구축될 예정이며, 아래는 도록 및 산악지대가 있어 주변에 민간 거주 시설(주택)이 존재하지 않으므로 해석에 고려하지 않았고, 일일 근무자 및 방문객 인구를 Table 2와 같이 고려하였다.

## 4. QRA

### 4.1 QRA 개요

QRA를 위해서 PHAST (DNV, Høvik, Norway)와 SAFETI (DNV) 프로그램을 사용하였다.

Table 2. Population conditions

Area	Category	Population
Hydrogen Mobility Center	around	Public: 40
	Office	Operator: 1
	R&D center	Operator: 30
	Factory 1	Operator: 5
	Factory 2	Operator: 5
	Factory 3	Operator: 3
		Operator: 3
Hydrogen station	Public: 2 Operator: 2	

Table 1. Hydrogen refueling station specification and scenario

Fuel	Component	Inventory			Scenario	Piping (inch)	Leak size (mm)	Leak frequency (/year)	Ignition probability		
		Pre. (Mpa)	Temp. (°C)	Mass, Volume (L)					Emission rate (kg/s)	Immediate	Delayed
H <sub>2</sub>	TT 1	20	40	22,900	Large Leak(10%)	1"	8.60	9.03E-04	0.7	0.053	0.027
					Cat. Rupture		-	5E-07			
	TT 2	20	40	22,900	Large Leak(10%)	1"	8.60	9.03E-04	0.7	0.053	0.027
					Cat. Rupture		-	5E-07			
	Low bank (8 EA)	50	40	9,512	Large Leak(10%)	9/16"	2.467	2.98E-04	0.13	0.053	0.027
					Cat. Rupture		-	5E-07			
	Medium bank (1 EA)	70	40	803	Large Leak(10%)		2.467	3.72E-04	0.2	0.053	0.027
					Cat. Rupture		-	5E-07			
	High bank (1 EA)	103.4	40	553	Large Leak(10%)		2.467	3.18E-03	0.3	0.053	0.027
					Cat. Rupture		-	5E-07			
	Comp.	93	40	803	Large Leak(10%)	9/16"	2.467	1.52E-04	0.25	0.053	0.027
					Large Leak(10%)		2.467	1.52E-04			
					Large Leak(10%)		2.467	1.52E-04			
	Dispenser (700 bar)	87.5	-40	553	Large Leak(10%)	9/16"	2.467	6.27E-04	0.3	0.053	0.027
Dispenser (350 bar)	45.0	-40	553	Large Leak(10%)	2.467		6.27E-04	0.15			

PHAST를 활용하여 화재, 폭발 등의 사고에 대한 피해 영향 및 범위를 분석하였고 충전소의 주요 설비인 저장, 충전 설비의 사고 피해 규모를 확인하였다. SAFETI를 활용하여 충전 시설의 잠재적인 위험 확인을 위해 도출된 시나리오를 기반으로 종합적 위험을 확인하였고 사고 빈도와 환경 조건을 통해 개인적/사회적 위험도를 확인하였다.

### 4.2 PHAST를 활용한 피해 영향 범위 분석

누출 시나리오에 따른 수소 확산 시뮬레이션 결과, Table 3과 같이 튜브 트레일러 및 고압수소 저장용기의 대규모 누출(large leak)의 확산거리가 크게 나타났으며 대규모 누출 시 수소 확산 결과, upper flammable limit (UFL) 확산거리가 형성되지 않았다. 대규모 누출(large leak) 시 50% lower flammable limit (LFL)이 미치는 거리는 튜브 트레일러 1, 2, 37 m, 압축가스 설비(high bank/medium bank/low bank) 23.5/18.4/12.6 m, 압축 설비(Comp.700 bar 1, 2) 22.1 m, 충전 설비(700/350 bar) 25.4/16.3 m로 나타났다. 이는 최악의 시나리오로 압축 설비, 충전 설비의 용량

을 압축가스 설비의 용량으로 적용해 확산거리가 대부분 12-37 m로 확산거리가 크게 형성되는 것을 의미하며, 이를 Table 3과 같이 나타내었다.

Fig. 3은 가스 누출로 인한 확산 범위로, 50% LFL의 수소 농도가 미치는 범위를 나타내었다.

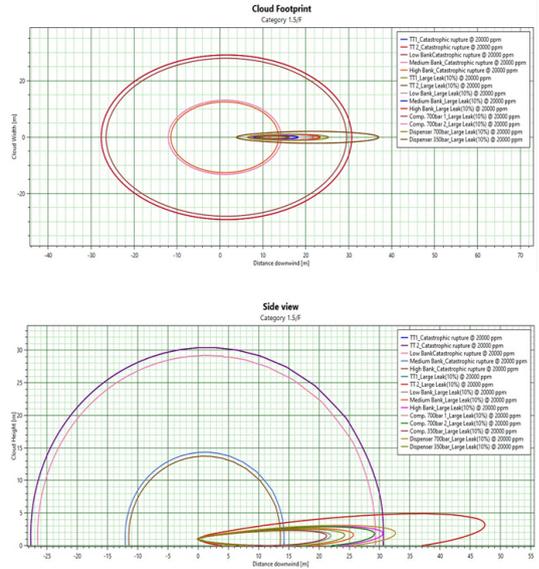


Fig. 3. Distance of dispersion

Table 3. Simulation results of dispersion

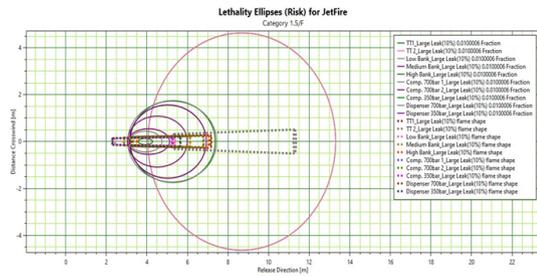
Scenario	Distance to UFL [m]	Distance to LFL [m]	Distance to LFL fraction [m]
TT1 Large Leak(10%)	n/a	21.09	37.02
TT1 Catastrophic rupture	3.267	24.46	35.47
TT 2_Large Leak(10%)	n/a	21.09	37.02
TT 2 Catastrophic rupture	3.267	24.46	35.47
Low Bank Large Leak(10%)	n/a	n/a	12.64
Low Bank Catastrophic rupture	2.808	23.29	33.47
Medium Bank Large Leak(10%)	n/a	n/a	18.35
Medium Bank Catastrophic rupture	0.899	10.66	14.55
High Bank Large Leak(10%)	n/a	n/a	23.46
High Bank Catastrophic rupture	0.740	10.17	13.81
Comp. 700bar Large Leak(10%)	n/a	n/a	22.09
Comp. 350bar Large Leak(10%)	n/a	n/a	n/a
Dispenser 700bar Large Leak(10%)	n/a	n/a	25.36
Dispenser 350bar Large Leak(10%)	n/a	n/a	16.28

제트화염(jet fire) 전파 거리에 대한 시뮬레이션은 누출 사고 발생 시 즉시 점화가 일어나 제트화염이 생성될 경우 복사열이 미치는 범위를 나타내며, 대규모 누출(large leak)의 경우 튜브 트레일러, 압축가스 설비, 압축 설비, 충전 설비 모두 화염 길이 5-11 m로 피해 영향 범위로 나타났으며, 복사열 강도 37.5

kW/m<sup>2</sup>의 범위는 튜브 트레일러에서 11 m로 측정되고, 제트화염이 최대 영향을 미치는 경우는 튜브 트레일러로 수소가 누출될 경우(0.55 Nm<sup>3</sup>의 볼륨을 설정)에서 대규모 누출(large leak)이 발생할 경우로, 사람에게 영향을 미칠 수 있는 강도(4 kW/m<sup>2</sup>)는 15.02 m, 나무 조각이 발화하거나 플라스틱 튜브가 녹을 수 있는 강도(12.5 kW/m<sup>2</sup>)는 12.91 m, 장비에 손상을 줄 수 있는 강도(37.5 kW/m<sup>2</sup>)는 11.04 m까지 도달하는 것으로 나타났다. 수소 화재 및 폭발에 의한 인체 및 시설물들이 받는 영향 기준은 Center for Chemical Process Safety (CCPS)의 guidelines for chemical process quantitative risk analysis을 Table 4 와 같이 준용하였다<sup>3)</sup>.

**Table 4.** The effect of radiation

Radiation (kW/m <sup>2</sup> )	Effect
0.9	Solar radiation in summer
4.0	Pain occurs within 20 seconds, skin blister
9.5	Pain limit within 8 seconds, risk of second degree burns within 20 seconds
11.6	Reference value of fire-ball
12.5	Ignition of a piece of wood, plastic tube melts
37.5	Severity of damage to process machinery



**Fig. 4.** Lethality ellipses risk for jetfire

누출된 수소가스가 점화하여 미치는 영향의 경우 Fig. 4와 Table 5에 나타내었고, 점화(지연 점화) 후 폭발하여 과압(overpressure)이 최대 영향을 미치는 경우는 Fig. 5와 Table 6의 시뮬레이션 결과와 같이 튜브 트레일러의 파열(catastrophic rupture)이 발생할 경우이다. 집의 지붕과 유리창에 손상을 일으킬 수 있는 정도의 압력(0.02 bar)은 409.46 m, 철 구조물이 약간 손상될 수 있는 정도의 압력(0.14 bar)은 95.69 m, 건축물의 철 구조물이 손상되며 기초에서 이탈될 수 있는 압력(0.21 bar)은 78.72 m까지 도달할 것으로 나타났다. 폭발 과압에 의해 주변 시설물들이 받는 영향 기준은 한국산업안전보건공단의 사고 피해 예측 기법에 관한 기술 지침(KOSHA GUIDE P-102-

**Table 5.** Simulation results of jet fire effect

Scenario	Flame length [m]	Distance (4kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance (12.5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance (37.5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
TT1 large leak (10%)	11.30	15.01	12.90	11.03
TT2 large leak (10%)	11.30	15.01	12.90	11.03
Low bank large leak (10%)	5.392	5.952	n/a	n/a
Medium bank large leak (10%)	6.126	7.071	5.676	n/a
High bank large leak (10%)	7.045	8.440	7.022	n/a
Comp. 700 bar 1 large leak (10%)	6.789	8.059	6.677	n/a
Comp. 350 bar large leak (10%)	5.241	5.707	n/a	n/a
Dispenser 700 bar large leak (10%)	7.166	8.600	7.110	n/a
Dispenser 350 bar large leak (10%)	5.650	6.312	n/a	n/a

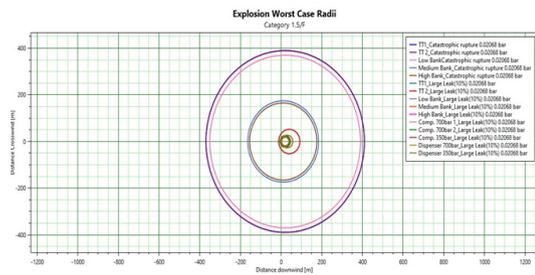


Fig. 5. Explosion worst case

2020)의 폭발 과압의 영향 판단 기준을 준용하였다 (Table 7)<sup>4)</sup>.

충전소 근처의 사무실 등 주변 시설에 영향을 미칠 수 있기 때문에 가스 누출 시 점화원이 존재할 경우 화재 및 폭발이 일어날 수 있어 이에 대한 대비로 주요 설비 등에 방호벽과 방폭이 이루어져야 한다.

Table 6. Simulation results of exposition

Scenario	Overpressure level [bar]	Maximum distance [m]	Diameter [m]
TT1 Large Leak(10%)	0.020	92.10	104.20
	0.206	47.59	15.184
TT1 Catastrophic rupture	0.020	409.45	778.91
	0.206	78.723	97.447
TT 2 Large Leak(10%)	0.020	92.101	104.203
	0.206	47.592	15.1845
TT 2 Catastrophic rupture	0.020	409.45	778.91
	0.206	78.723	97.447
Low Bank Large Leak(10%)	0.020	39.169	38.338
	0.206	22.793	5.5867
Low BankCatastrophic rupture	0.020	390.00	740.01
	0.206	73.917	107.83
Medium Bank Large Leak(10%)	0.020	42.341	44.682
	0.206	23.255	6.5111
Medium Bank Catastrophic rupture	0.020	184.30	348.60
	0.206	35.399	50.799
High Bank Large Leak(10%)	0.020	56.547	53.095
	0.206	33.868	7.7371
High Bank Catastrophic rupture	0.020	175.15	330.30
	0.206	34.066	48.132
Comp. 700bar Large Leak(10%)	0.020	45.340	50.681
	0.206	23.692	7.3853
Comp. 350bar Large Leak(10%)	0.020	38.618	37.236
	0.206	22.713	5.4260
Dispenser 700bar Large Leak(10%)	0.020	58.009	56.019
	0.206	34.081	8.16328
Dispenser 350bar Large Leak(10%)	0.020	40.890	41.779
	0.206	23.044	6.0882

### 4.3 SAFETI를 활용한 개인적/사회적 위험도 분석

#### 4.3.1 위험도 분석 개요

위험도(risk)는 사고 발생 빈도(frequency)와 피해 영향 결과(consequence)의 조합으로 산출된다. 개인적 위험도(individual risk, IR)는 위험 시설로 인해 한 개인이 사망할 확률을 의미하며, 사회적 위험도(societal risk, SR)는 시설물 주변의 인구에 대해 인명 피해를 발생시킬 수 있는 누적 빈도로 나타낸다. 본 연구에서는 영국의 Health and Safety Executive (HSE)에서 제시한 위험 허용 기준을 참고하였고, 이를 Table 8 과 Table 9에 나타내었다<sup>9,10</sup>.

HSE의 작업자 위험 허용 기준(as low as reasonably practicable, ALARP)은  $1 \times 10^{-3}$ 부터  $1 \times 10^{-6}$ 까지이며, 일반인의 경우  $1 \times 10^{-4}$ 부터  $1 \times 10^{-6}$ 로, 이는 사고로 인한 사망자 수(number of fatality)가 0.001-

0.00001의 확률임을 의미한다.

#### 4.3.2 IR 분석 결과

DS/INF 85-risk analysis에서는 IR이란 위험원과의 거리에 기초하여 개인의 노출되는 위험으로 명시하고 있다<sup>9</sup>. 충전 설비의 IR을 분석한 결과 시설로부터 가장 가까이 나타난 범위는  $8.00E-06/\text{year}$ 이고, risk contour상  $1E-06/\text{year}$ 부터  $1E-09/\text{year}$ 까지의 윤곽선이 형성되었다. 허용 영역 기준인  $1E-06/\text{year}$ 을 초과 하였으므로 IR 판정 기준에 따라 이 시설의 IR은 영국 HSE에서 제시한 작업자(workforce) 및 일반 대중(public)에 대한 위험은 허용 가능한 범위에 분포한다(Fig. 6, Table 7).

#### 4.3.3 SR 분석 결과

사회적 위험은 특정 사고가 대중에게 미치는 위험

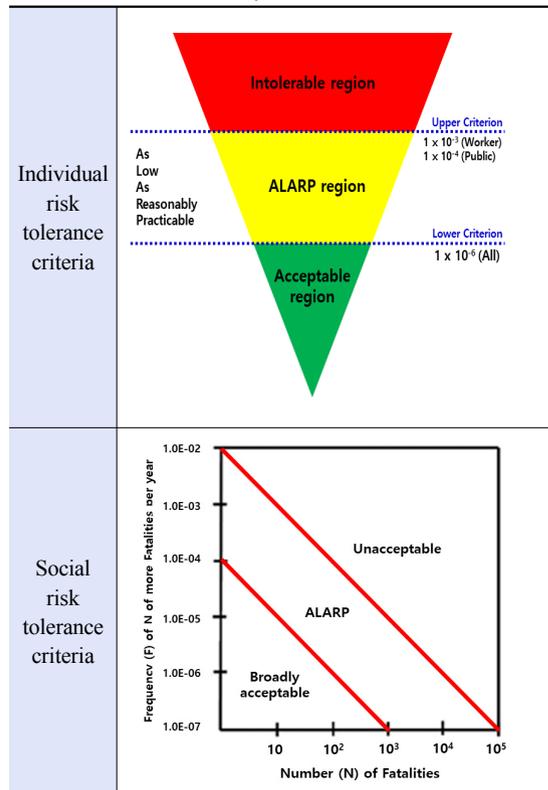
Table 7. The effect of overpressure

Over-Pressure (kPa)	Effect
2	10% damage to roof and windows
5	Structural damage to a house
7	Damage to a house
9	Damage to steel structures
20	Leaving the foundation of a building
50	Loaded truck overturns

Table 8. Risk acceptance criteria (UK HSE)

Criteria	Risk of Fatality Per Year
Unacceptable / Intolerable	$> 1 \times 10^{-3}$
Maximum tolerable risk for workforce	$1 \times 10^{-3}$
Maximum tolerable risk for members of the public	$1 \times 10^{-4}$
ALARP region (workforce)	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$
ALARP region (public)	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
Broadly Acceptable	$< 1 \times 10^{-6}$

Table 9. UK unclear industry risk tolerance criteria



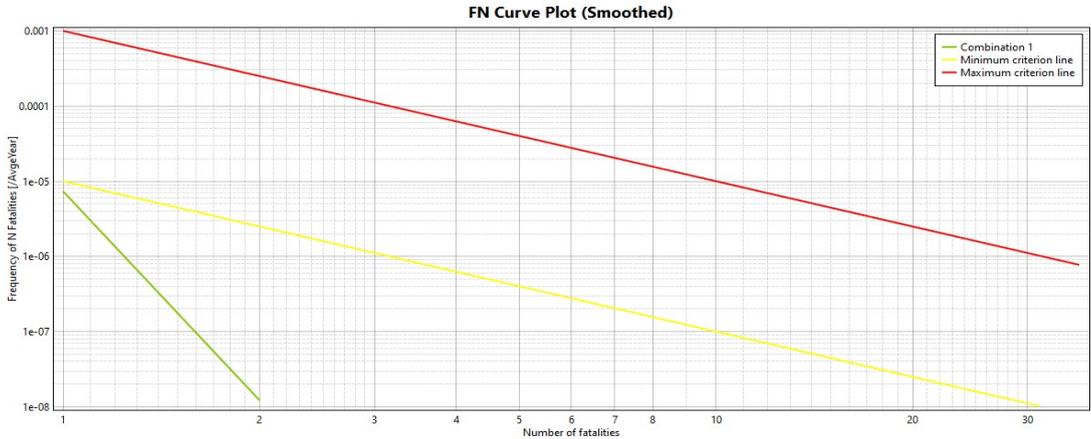


Fig. 6. Societal risk assessment F-N curve

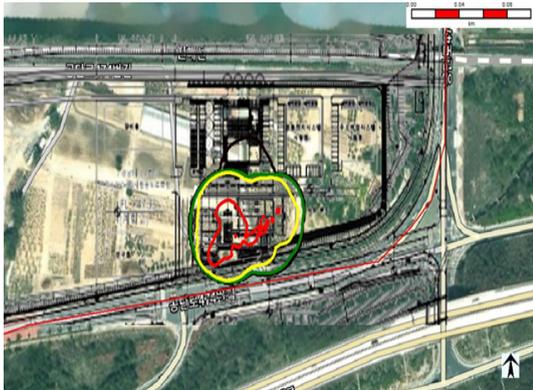


Fig. 7. Individual assessment

의 정도를 나타내는 것으로, number of fatalities와 frequency of fatalities의 곱인 F-N curve로 표현할 수 있다. Fig. 7의 SR을 분석한 결과  $1 \times 10^{-5}/\text{year}$ 부터 그래프가 시작되며, 현 설비 기준 F-N curve가 minimum criterion line 아래에 위치하므로 이 시설의 사회적 위험은 Table 7의 허용 가능한 범위에 분포하는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 QRA 프로그램(PHAST/SAFETI)을 활용하여 대용량 수소충전소의 주요 설비에 대한 피해 영향 범위를 산출하였으며, 가상 시나리오에 대한

IR과 SR을 예측하여 위험성을 분석하였다.

IR 평가 결과 테스트베드 설비 부지 내에서 개인이 사망할 확률은  $8.00E-06/\text{year}$ 에 이르며, SR 평가 결과  $1 \times 10^{-5}/\text{Avgyear}$ 당 1명의 fatality 및  $1 \times 10^{-8}/\text{Avgyear}$ 당 2명의 fatalities를 나타내었다. 대용량 수소충전소 시설의 위험성은 가능한 범위 내(ALARP)에 있는 것으로 나타났다. 최초 위험성 평가는 조건부 허용 영역에 해당되어 저장 설비 및 압축가스 설비 주변 방호벽 설치에 대한 안전 조치 사항이 적용되었다. 다만, 위험성 평가 프로그램에서 들어간 가정 요소가 실제 운영 예정인 충전소 시설을 완벽하게 구현할 수 없으므로 추가적인 안전 확보를 위해 조인트, 밸브류 등 이음매 구간 상시 점검과 작업자 실수를 예방하기 위한 작업 매뉴얼을 비치하여 안전 점검 절차를 철저히 준수하도록 하였다. 또한 실시간 모니터링을 통해 안전한 사용이 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 “대형 수소사용차 충전시간 단축을 위한 멀티포트 충전기술 개발” 연구과제입니다(No.20015048).

## References

1. Korea Meteorological Administration (KMA), "Daily weather data of Changwon, August 2021", KMA, 2021. Retrieved from <https://www.weather.go.kr/w/obs-climate/land/past-obs/obs-by-day.do?stn=155&yy=2021&mm=8&obs=1>.
2. Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), "The technical Guidance on the selection of worst-case and alternative leak scenario (P-107-2020)", KOSHA, 2020. Retrieved from <https://www.kosha.or.kr/kosha/data/guidanceDetail.do>.
3. Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Guidelines for chemical process quantitative risk analysis", 2nd ed, Wiley, USA, 1999, doi: <https://doi.org/10.1002/9780470935422>.
4. Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), "The technical guidelines on accident damage prediction techniques (P-102-2021)", KOSHA, 2020. Retrieved from <https://www.kosha.or.kr/kosha/data/guidanceDetail.do>.
5. N. J. Duijm, "Acceptance criteria in Denmark and the EU", Danish Environment Protection Agency, 2009. Retrieved from [https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-7052-920-4/html/kolofon\\_eng.htm](https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-7052-920-4/html/kolofon_eng.htm).
6. International Association of Oil & Gas Producers (IOGP), "Risk assessment data directory - process release frequencies", IOGP, 2019, pp. 43-44. Retrieved from <https://www.iogp.org/bookstore/product/risk-assessment-data-directory-process-release-frequencies>.
7. D. Kwon, S. Choi, S. Kang, and C. Yu, "The analysis on quantitative risk assessment of the package type H<sub>2</sub> station using Hy-KoRAM and PHAST/SAFETI," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 29, No. 4, 2020, pp. 16-25. Retrieved from <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArticleView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART002678712>.
8. D. H. Kim, S. M. Lee, C. H. Joe, S. K. Kang, and Y. S. Huh, "A study on the quantitative risk assessment of mobile hydrogen refueling station", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 31, No. 6, 2020, pp. 605-613, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2020.31.6.605>.
9. Health & Safety Executive (HSE), "The tolerability of risk from nuclear power stations", HSE, 1992. Retrieved from <https://www.onr.org.uk/documents/tolerability.pdf>.
10. C. Nussey, "Failure frequencies for major failures of high pressure storage vessels at COMAH sites: a comparison of data used by HSE and the Netherlands", *hse.gov.uk*, 2006, pp. 28. Retrieved from <https://www.yumpu.com/en/document/read/22334788/failure-frequencies-for-major-failures-of-high-pressure-storage-hse>.
11. DNV Software, "Leak: release note for version 3.3", DNV, 2011. Retrieved from [https://myworkspace.dnv.com/download/public/phast/release\\_notes/leak\\_03\\_3\\_0\\_release\\_notes.pdf](https://myworkspace.dnv.com/download/public/phast/release_notes/leak_03_3_0_release_notes.pdf).
12. J. LaChance, W. Houf, B. Middleton, and L. Fluer, "Analyses to support development of risk-informed separation distances for hydrogen codes and standards", Sandia National Laboratories, 2009, doi: <https://doi.org/10.2172/983689>.