



## 수소 충전 시설 내 근로자를 위한 안전거리 선정 방법 개선에 관한 연구

†이효렬

한국가스안전공사 가스안전연구원  
(2023년 6월20일 접수, 2023년 10월 18일 수정, 2023년 12월 8일 채택)

### A Study on the Improvement of Selection Method of Safety Distance for Worker in Hydrogen Refueling Station

†Hyo-Ryeol Lee

*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Chungcheongbuk-do 27738, Korea*

*(Received June 20, 2023; Revised October 18, 2023; Accepted December 8, 2023)*

#### 요약

최근 이산화탄소배출 감축과 환경오염 물질 저감이 세계적인 이슈가 됨에 따라 규제를 강화하고 있다. 수송 부분에서는 사용 연료를 기존 화석 연료에서 수소 등 친환경 연료로 에너지 전환이 이루어지고 있다. 국내에서는 에너지 전환에 발맞춰 2040년까지 1,200기의 수소 충전소 구축을 목표로 하고 있어, 넓은 인화 범위를 가지는 고압 수소를 공급하는 충전소의 안전성 확보가 매우 중요하다. 본 논문에서는 충전소 사고 발생 시 충전소 내 근로자의 안전확보를 위해 국내 기준과 일본, 유럽 등의 수소 충전소 안전거리 기준 현황을 분석하여 안전거리 설정 가이드 라인을 제시하였다. 안전거리 설정 절차는 유럽의 EIGA 기준에 따라 설비별 사고 발생빈도와 TNO의 EFFECTS 소프트웨어를 활용한 피해 영향 분석을 통해 사망 확률이 3.5E-05 이하가 되는 안전거리를 산출하였다.

**Abstract** - Recently, the world's countries are tightening regulations on CO2 and air pollutants emission to solve them. In addition, eco friendly vehicles is increasing to replace automobiles in internal combustion engine. The government is supporting the expansion of hydrogen refueling infrastructure according to the hydrogen economy road map. In particular, refueling station is important to secure the safety that supplies high-pressure hydrogen with a wide LFL range. This paper is on guidelines for the determination safety distances to ensure worker safety from accident as jet fire. The safety distance is set according to the procedure of the EIGA doc 075/21. For accident frequency is upper 3.5E-05 per annum, safety distance is decided via consequence analysis where the risk of harm is below individual harm exposure threshold.

**Key words** : safety distance, high pressure gas facility, EIGA Doc 075, hydrogen, consequence analysis

#### 1. 서론

최근 탄소 배출 감축과 환경오염 물질 저감이 세계적인 이슈가됨에 따라, 국내에서는 2019년 수소경

제 로드맵을 발표하고 수송 부분에서 발생하는 탄소 및 대기 오염 물질 배출 감소를 위해 2040년까지 수소 전기차 290만대 보급, 1,200기의 수소 충전소 구축 목표를 제시하였다. 90 MPa 까지 수소를 압축하여 자동차로 공급하는 수소 충전소에서는 설비의 기계적 오류, 인적오류, 천재지변 등 사고 발생 가능성을 내포하고 있으며, 수소는 공기중에서 4~74.2 vol% 넓은 가연

†Corresponding author:hrlee@kgs.or.kr

Copyright © 2023 by The Korean Institute of Gas

**Table 1.** Guidelines for establishing safety distance for hydrogen refueling station in Japan[3]

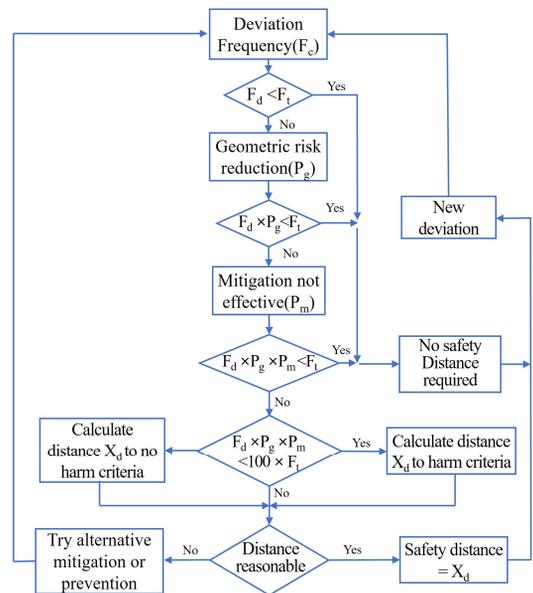
항 목	목 적	정 의	적용기준
화기 취급 시설과의 거리	제조 설비에서 누출된 수소가 화기 설비에 의한 인화 방지	수소가 착화되지 않는 거리	· LFL(최소가연한계) 1/4 이하가 되는 거리
부지 경계 거리	제조 설비에서 누출된 수소에 의한 부지 경계상의 사람·건물에 대한 영향을 방지 (폭풍압, 화염길이, 복사열)	제조 설비에서 누출된 수소가 착화한 경우 인체 및 건물에 대한 영향도가 일정 수준 이하로 되는 거리	· 폭풍압: 부지경계에서 1 kPa 이하 · 화염길이: 부지경계까지의 거리 이하 · 복사열: 부지 경계에서 1,080 kcal/m <sup>2</sup> h
디스펜서와 도로의 이격거리	디스펜서에서 누출된 수소가公道 상의 사람에게 미치는 영향을 방지	디스펜서에서 누출된 수소가 착화한 경우,公道 상의 사람에게 미치는 영향도가 일정 수준 이하로 되는 거리	· 폭풍압: 도로 경계에서 1 kPa 이하 · 화염길이: 도로 경계까지의 거리 이하 · 복사열: 도로 경계에서 1,080 kcal/m <sup>2</sup> h
설비간의 거리	제조 설비에서 누출된 수소가 인접 고압가스 설비에 미치는 영향을 방지	제조 설비에서 누출된 수소가 인접 고압가스 설비에 미치는 영향도가 일정 수준 이하로 되는거리	· 폭풍압: 설비 경계에서 1 kPa 이하 · 화염길이: 설비 경계까지의 거리 이하

범위를 지니고 있어 누출 발생 시 화재 및 폭발의 사고로 확대될 수 있다. [1, 2]

수소 충전소의 안전성 확보를 위해 2022. 11. 24.부터 충전 시설의 입지 및 배치 등에 따른 피해범위, 개인적, 사회적 위험도를 분석하여 추가 안전 조치 사항을 도출하는 ‘수소 자동차 충전소 안전 영향 평가 지침’을 제정하여 안전 영향 평가를 수행하고 있으며, 설비 고장률 감소를 위해 검사 또는 인증을 받은 수소용품의 사용, 배관 시공자, 안전관리자 교육을 통한 안전관리 전문성 강화, 안전거리 확보, 긴급 대응 체계 확보 등의 다양한 노력을 하고 있다. 하지만, 충전소 밖 주택 등은 보호시설은 안전관리 대상이지만, 충전소 안 보호시설은 안전관리 대상에서 제외되어 충전소 근로자가 위험에 노출될 수 있다.

수소 충전소 등의 고압 가스 시설에서 근로자의 안전 확보를 위해 안전거리 설정하는 연구가 수행되었으며, Kang은 수소 충전소에서 고압 수소 누출시 발생하는 제트화산과 제트 화염의 특성을 누출원 크기에 따라 분석하여 최소 안전거리 설정을 위한 가이드 라인을 제시하였다.[3] Lee는 화공 플랜트 사업장 내 제어실, 사무실 등 작업자가 거주하는 장소와 위험물 시설(고압가스설비 등) 간에 필요한 최소한의 안전거리를 자동으로 산출하는 시스템에 대한 연구 개발을 수행하였다.[4] Makoto Hirayama는 수소 충전소 디스펜서 발생하는 사고 형태를 제트화재, 폭발, 플래시 화재 3개 그룹으로 나누고, 누출공 크기에 따른 복사열을 HyRAM으로 분석하여 안전거리 선정하는 접근법을 제시하였다.[5]

본 논문에서는 수소 충전소 등 고압 가스 시설 내 근무자의 안전 확보를 위해 유럽의 EIGA Doc 075 기준을



**Fig. 1.** Methodology for the evaluation of the safety distance (EIGA Doc 075)

분석하고, TNO EFFECTS를 통한 피해영향 범위 평가에 의한 안전거리 선정의 가이드라인을 제시하고자 한다.

## II. 국내 · 외 안전거리 산출 기준

안전거리는 발생 가능한 사고로 인한 피해 영향을

**Table 2.** Comparison of safety distance criteria for hydrogen refueling station

구 분	한국(10톤 이하 기준)				일본		NFPA2			
	KGS FP217(저장식)		융복합 특례고시		1종	2종(주택)	충전설비	저장설비, 처리설비		
	1종	2종(주택)	1종	2종(주택)				Bulk	Nonbulk	
저장설비- 보호시설 (저장능력 1만 m <sup>3</sup> 이하 기준)	기본	17	12	17	12	×	×	3 (중요 건축물)	×	×
	예외	0 (사업소, 전용공업지역 내)		0 (방호벽설치)		×	×	×	×	×
처리설비- 보호시설, 사업소경계	기본	30 m 이내에 보호 시설 존재 시 방호벽 설치			사업소 경계에 방화벽설치		×	×	×	×
		×		(방호벽설치)						
저장, 처리, 충전설비 - 사업소경계	기본	10	10	8		3	10	7.6		
	예외	5 (사업소, 전용공업지역 내)	0 (방호벽설치)	8 (방호벽설치)		×	5 (방화벽설치)	0 (방화벽설치)		
저장, 충전설비- 도로	기본	5 (충전설비- 도로)	5 (충전설비- 도로)	8 (충전설비- 도로)		3	5 (대중)	7.6 (도로)		
	예외	×	0 (방호벽설치)	0 (방호벽설치)		×	2.5 (방화벽설치)	0 (방화벽설치)		
저장, 처리, 충전설비- 철도	기본	30	30	×		3	×	×		
	예외	×	0 (방호벽설치)	×		×	×	×		
저장설비- 충전설비	기본	8 (저장설비- 충전설비)	×	방호벽 (압축기, 축압기, 저조, 증발기- 충전설비)		×	×	×		
	예외	0 (방호벽설치)	×	× (하나의 케이스 내 설치)		×	×	×		
고압가스설비- 다른 가연성 고압가스 설비	기본	5	5	6 (LPG 충전설비 제외)		×	×	×		
	예외	×	3.3 (방호벽설치)	3.3 (CNG 충전설비, 방호벽 설치)		×	×	×		

완화하고 사소한 사고가 대형 사고로 확대되는 것을 방지하기 위해 사고위험 요인으로부터 보호 대상(사람, 설비 등)까지의 최소 이격거리를 의미한다. 따라서, 안전거리를 벗어난 지역은 사고 시 안전한 지역을 의미하는 것이 아니라, 적절한 방재 활동에 의하여 인명과 재산 피해를 방지할 수 있는 지역을 의미한다. [6]

Table 1은 일본의 안전거리 설정을 위한 가이드라인을 나타낸 것이다. 70 MPa 수소 충전소 기준을 제정하면서 35 MPa와 마찬가지로 누출공으로부터 누출된 수소에 대해 ‘누출확산’, ‘폭풍압’, ‘화염길이’ 및 ‘복사열’의 상황을 고려하여 이격거리를 설정하고 있

다.[3] 유럽의 EIGA는 산업설비에 대한 안전거리를 설정하는데 있어 Fig. 1의 흐름도 처럼 사고발생 빈도와 사고 피해 영향 범위를 고려하여 안전거리를 설정하고 있다. [7]

Table 2는 KGS code FP217 ‘저장식 수소 자동차 충전의 시설·기술·검사 기준’, ‘산업통상자원부 고시 제 2020-109호 융·복합, 패키지형 및 이동식 자동차 충전소 시설기준 등에 관한 특례기준’, 일본 고압가스보안법의 일반고압가스 보안 규칙, 미국 NFPA2 ‘Hydrogen Technologies Code’의 수소 충전소 관련 안전거리 현황을 비교하여 나타낸 것이다.

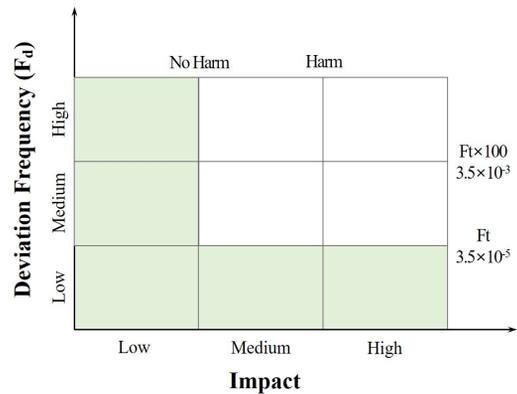
**Table 3.** Harm vs No Harm criteria[7]

Effect	No Harm Criteria	Harm Criteria
Fire	1.6 kW/m <sup>2</sup> (Jet fire) 50% of LFL (Flash fire)	9.5 kW/m <sup>2</sup> (Jet fire) LFL (Flash fire)
Explosion	3 kPa	7 kPa (People) 20 kPa (Equipment)
Cryogenic	0 °C	-40 °C
Oxygen	above 23.5% oxygen level in the atmosphere below 19.5% oxygen level in the atmosphere	above 35% oxygen level in the atmosphere below 12.5% oxygen level in the atmosphere
Toxic	LD <sub>001</sub> ERPG Level 2(AEGL 2) HSE EH40, TLV(c), PEL, AGE	LD <sub>01</sub> ERPG Level 3(AEGL 3) Immediately Dangerous to Life or Health

국내의 안전거리 현황을 비교해보면 국내는 아직 사업장 내 보호시설에 대한 안전거리 설정에 대한 가이드라인이 미비한 상황이며, 유럽 및 일본과 같이 보호 대상에 미치는 영향을 분석하여 안전거리를 설정하고 있어 근로자 보호를 위한 가이드라인을 정립할 필요가 있다. 유럽의 안전거리 설정 모델은 사고발생 빈도를 고려하고 있는 반면, 일본은 확산 및 복사열, 폭발압 등 피해영향을 분석하여 안전거리를 설정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 수소 충전소에서 누출 사고 발생 시 복사열에 의한 피해 영향 분석을 통해 사업장 내 근로자 안전 확보에 필요한 안전거리 도출 과정에 관한 연구를 수행하였다.

### III. EIGA Doc 75의 안전거리 기준

유럽 EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION (이하 EIGA)의 Doc 75/21의 기준에서의 안전거리(Safety Distance) 정의는 다음과 같다. 어떤 시설로부터 근로자가 특정 거리만큼 이격되어있을 때, 근로자의 사망이나 심각한 부상이 발생할 확률( $F_i$ )이  $3.5E-05$ (또는 이하)가 되는 지점을 말한다. 여기서  $3.5E-05$ 의 확률은 아래의 근거로 설정되었다. 영국에서 5세부터 14세 사이의 사람이 평균적으로 자연사할 확률을 지역별 조사하였을 때 가장 적은 확률은  $2.0E-04$ 로 나타났다. 일상 생활을 근로(직장), 이동(교통), 휴식(집)으로 분류하여 직장에서의 자연사할 확률은  $0.7E-04$ 로 구해지며, EIGA에서는 안전 근로 환경 조성을 위해 근로자가 사망이나 심각한 부상을 당할 확률을 자연사할 확률의  $1/2$ 로 설정하여  $3.5E-05$ 가 최종적으로 도출되었다. 즉, 사업장 내에서 사망할 확



**Fig. 2.** Risk Matrix for the calculation of the safety distance

률이 위와 같다면 사업장 밖에서 자연사할 확률보다  $1/2$  이상 낮으므로 어느정도 근로자의 안전이 확보되었다 판단할 수 있다.

Table. 2와 같이 국내 기준에서 적용하고 있는 안전거리와 달리 특정 거리가 아니라 근로자의 사망 발생 확률이 임계값 이하가 되도록 안전거리를 설정한다는 것이다. EIGA 기준에 따라 가스 시설의 안전거리를 구하기 위해서는 설비에 대한 사고 발생 빈도 분석과 사고 피해 영향 분석 모두가 필요하다. Fig. 2는 안전거리 산출을 위한 Risk Matrix를 나타낸 것이다. 세로축은 시설에서 사고가 발생할 확률( $F_i$ )을 나타낸 것이며, 가로축은 해당 사고의 피해 영향을 나타낸 것이다. EIGA에서 사고 피해 영향의 기준을 Harm, No Harm으로 분류하고 있으며, 사고 발생 시 사망 또는

**Table 4.** Hydrogen leak frequency of each facility in hydrogen refueling station [9-12]

Facility	Inventory			Leak Size (mm)		Leak Frequency (/year)	Ignition Probability (Immediate)
	Pressure (Mpa)	Temperature (°C)	Total Mass (kg)				
Tube Trailer	20	35	342.1 kg	1% A Leak	1.27	4.14E-04	0.008
				10% A Leak	4.02	3.21E-04	0.008
				100% A Leak	12.70	1.80E-04	0.053
				Total Frequency			
LP/MP Compressor	50	35	12.89 kg	1% A Leak	0.79	9.92E-04	0.008
				10% A Leak	2.50	2.62E-05	0.008
				100% A Leak	7.92	4.24E-06	0.053
				Total Frequency			
HP Compressor	99	35	19.38 kg	1% A Leak	0.72	9.92E-04	0.008
				10% A Leak	2.26	2.62E-05	0.008
				100% A Leak	7.16	4.24E-06	0.053
				Total Frequency			
H2 Storage (HP)	100	35	19.38 kg	1% A Leak	0.72	1.35E-03	0.008
				10% A Leak	2.26	1.14E-03	0.008
				100% A Leak	7.16	9.36E-04	0.053
				Cat. Rupture	-	4.00E-06	0.230
				Total Frequency			
H2 Storage (MP)	55	35	12.89 kg	1% A Leak	0.79	3.90E-03	0.008
				10% A Leak	2.50	3.34E-03	0.008
				100% A Leak	7.92	2.87E-03	0.053
				Cat. Rupture	-	1.40E-05	0.230
				Total Frequency			
Dispenser	87.5	-40	5 kg	1% A Leak	0.72	1.74E-04	0.008
				10% A Leak	2.26	8.32E-05	0.008
				100% A Leak	7.16	3.84E-05	0.053
				Total Frequency			

심각한 부상 확률이 0.1% 되는 기준점을 No Harm, 1% 되는 기준점을 Harm으로 나타내고 있다. 사고 형태에 따른 Harm, No Harm의 기준 값을 Table 3에 정리하여 나타내었다.

사고 발생확률이  $F_i$ 보다 낮거나, 사고가 발생하더라도 피해 영향이 No Harm 기준 보다 적은 영향이 예상된다면 근로자에게 무해하다 판단하여 추가적인 안전거리를 적용하지 않는다. 사고 발생 확률이  $F_i$ 보다 높은 경우 EIGA에서는 근로자의 위험 노출 빈도를 나타내는  $P_g$  (Geometric Risk Reduction)와 피해 저감 요소의 작동실패 확률을 나타내는  $P_m$  (Failure Probability of Mitigating Measure)을 사고 발생 확률에 곱하여

$F_i$ 보다 작으면 안전거리를 적용하지 않고,  $F_i \times 100$ 의 값보다 작을 경우 No harm, Harm 기준을 만족하는 안전거리를 계산하여 합리적으로 결정한다.

#### IV. 수소 충전 시설 내 근로자를 위한 안전거리 설정

##### 4.1. 수소 충전 시설의 설비별 사고 발생빈도

수소 충전소는 대부분의 설비에서 고압 기체 형태로 수소를 저장, 공급하기 때문에 설비에서 사고 발생 시 고압의 수소가 제트 형태로 방출되어 (Jet release) 빠른 시간 내에 가연 영역을 형성하게 된다. 누출 발생

이후에 즉시 점화가 되면 제트 화재 사고가 발생하고, 누출발생 이후에 지연점화가 이루어지면 증기운 폭발(Vapor cloud explosion, VCE) 사고가 발생한다. 수소는 유독가스가 아니기 때문에 누출 사고로 인한 중독, 질식사의 위험은 없지만 점화 에너지가 낮고 가연 한계가 넓어 화재, 폭발의 위험성이 항상 존재하고 있다. [8] Table. 4는 충전소 내 근로자의 안전 확보를 위한 안전거리 설정을 위해 설비별 설계압력, 용량, 상용 온도와 누출공 크기, 발생 빈도 및 즉시·지연 점화 확률을 정리하여 나타낸 것이다. 사고 빈도의 경우 국내에서 수집된 데이터가 없어 Sandia, AIST, HSE의 연구 자료를 활용하였다.[9-12]

EIGA에서 제시하는 사고 피해 영향 기준 적용을 위해 제트 화재 사고를 바탕으로 분석하였다. 튜브트레일러, 압축기(저압, 중압, 고압), 디스펜서는  $F_i$  값인  $3.5E-05$ 미만으로 나타났으나, 압축된 수소를 저장하는 압축가스설비(중압, 고압)에서  $F_i$  값을 초과하였다. 근로자의 위험 노출 빈도인  $P_g$ 는 수소 충전소 내 안전관리자 1인 이상이 항상 상주하는 조건으로 1을 설정하였고, 보다 보수적인 관점에서 안전 거리 설정을 위해 피해 저감요소 작동 실패 확률인  $P_m$ 을 1로 설정하였다. 따라서,  $F_i$ 를 초과하는 압축가스 설비에서 발생하는 제트 화재의 피해 영향 평가를 통한 추가 안전거리 설정이 필요하다.

#### 4.2. 피해영향 평가를 통한 안전거리 산출

추가 안전거리 설정을 위한 피해 영향 평가는 TNO사의 EFFECTS 소프트웨어를 활용하였으며, 누출 높이는 지상에서 1 m, 누출 방향은 수평방향과 수직 방향 2가지로 분류 하였다. 풍속은 지상 10 m높이에서 초당 1.5 m의 속도 적용하였고, 대기 안정도는 F 등급을 사용하였다. 추가 안전거리 설정은 설비에서 가장 큰 누출공이 발생한 제트 화재로부터 근로자가 안전하도록 하였으며, EIGA의 No Harm, Harm의 제트 화재 복사열 기준인  $1.6$ 와  $9.5 \text{ W/m}^2$ 이 도달하는 거리를 분석하였다.

Table. 5는 압축가스 설비에서 Harm(H), No Harm(N) 복사열 기준의 끝점 거리를 나타낸 것이다. 설계압력이 100 MPa인 고압 압축가스 설비에서 최대 27.3 m, 상대적으로 설계 압력이 55 MPa로 낮은 중압 압축가스 설비에서 24 m의 피해 영향 범위가 산출되었다. 산출된 피해 영향 범위 만큼 안전거리를 부여하면 근로자의 안전을 확보할 수 있다. 하지만, KGS Code FP217 “저장식 수소 자동차 충전의 시설·기술·검사기준”의 2.7.2 방호벽 설치 기준에 따라 압축장치와 충전 설비 사이 및 압축가스 설비와 충전 설비 사이에는 가스 폭발에 따른 충격에 견딜 수 있고 한쪽

**Table 5.** The results of consequence analysis by facility

Facility	Leak Size	Damage Range(m)	
		Vertical	Horizontal
H <sub>2</sub> Storage (HP)	100% A (7.16 mm)	H: 4.1 N: 10	H: 20.1 N: 27.3
H <sub>2</sub> Storage (MP)	100% A (7.92 mm)	H: 3.7 N: 8.9	H: 17.4 N: 24

에서 발생하는 위해요소가 다른쪽으로전이 되는 것을 방지하기 위한 방호벽 설치가 의무화 되어있다. 압축가스 설비에서 제트 화재가 발생하더라도 방호벽이 설치된 방향에서는 복사열이 설비나 근로자에게 위해가 전달되지 않는다. 따라서, 근로자 안전 확보를 위한 추가 안전거리 설정 시 압축가스 설비 주변에 방호벽 설치 유무, 충전소 설비 배치에 따라 합리적으로 결정되어야한다.

## V. 결론

수소 전기 자동차의 충전 인프라 확보를 위해 구축되는 수소 충전소 내 근로자의 안전확보를 위한 안전거리 설정에 대한 연구 결과를 다음과 같이 요약하였다.

(1) 유럽의 EIGA Doc 075/21의 기준에 따라 안전거리 설정을 위해 수소 충전소 설비별 제트 화재 사고 발생 확률과 사고 발생 시 근로자가 사망 또는 심각한 부상을 입을 확률인  $3.5E-05$ 와 비교하였다. 충전소를 구성하는 설비 중 중압, 고압 압축가스 설비는 기준치를 초과하여 추가 안전거리 설정이 필요하였으며, 튜브트레일러, 압축기, 디스펜서는 추가 안전 거리 설정이 필요치 않음을 확인하였다.

(2) TNO사의 EFFECTS를 활용하여 중압, 고압 압축가스 설비에서 가장 피해 영향이 큰 누출공 조건에서 누출 방향이 수직, 수평일 때 복사열에 의한 피해 영향 평가를 수행하였다. 분석 결과 근로자 안전확보를 위해 고압 압축가스 설비에서는 최대 27.3 m, 중압 압축가스 설비에서는 최대 24 m의 추가 안전 거리가 필요함을 확인하였다. 최종적으로 안전거리 적용을 위해서는 현장에 설치된 방호벽, 충전소 내 설비 배치를 고려하여 합리적으로 결정해야 한다.

본 논문에서는 수소 충전소 내 근로자 안전확보를 위한 안전 거리 설정 절차를 유럽의 EIGA 기준을 바탕으로 소개하였으며, 고압 가스 시설 등에서도 활용이 가능할 것이라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 및 KETEP의 다중이용 에너지 시설 안전진단 및 위험예측 안전기술 개발 사업(20215910100200, 고위험 가스 밀집시설에서 현장 상황에 따른 위험예측과 사고 대응이 가능한 차등적 안전 프로세스 중심의 스마트 안전관리시스템 개발)의 연구결과로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- [1] Shin, J. S., and Choi, S. K., "A Study on Quantitative Risk Analysis & Model Application for Hydrogen Filling Center", *Journal of the Korean Institute of Gas*, **16**(6), 87-101, (2012)
- [2] Lim, J. Y., Kwon, D. H., Choi, S. K., and Yu, C. H., "A Study on Quantitative Risk Analysis of Hydrogen Refueling Station Using HyRAM 3.0", *Journal of Energy Engineering*, **31**(1), 38-46, (2022)
- [3] Kang, S. K., "A study of jet dispersion and jet-fire characteristics for safety distance of the hydrogen refueling station", *Journal of the Korean Institute of Gas*, **23**(6), 74-80, (2019)
- [4] Lee, U., Koo, Y. J., Kim, S. H., and Oh, J. S., "A Development of Real Time Safety Distance Algorithm with Workers Position Detection in Chemical Plant", *Proceedings of the Korean Institute of Gas 2017 Autumn Annual Meeting*, **24**, (2002)
- [5] Makoto Hirayama, Yusuke Ito, Honami Kamada, Naoya Kasai, and Tsutomu Otaki, "Simplified approach to evaluating safety distances for hydrogen vehicle fuel dispensers", *International Journal of Hydrogen Energy*, **44**, 18639-18647, (2019)
- [6] Kim, H. B., and Kim, D. M., "A Study on Boundary Setting of Disaster Area according to Explosion of Gas & Oil Station in Residential area that Apply to GIS Spatial Analysis Techniques", *The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers*, **22**(5-D), 863-870, (2002)
- [7] European Industrial Gases Association EIGA Doc 075/21 Rev1, "Methodology for Determination of Safety and Separation Distances"
- [8] Park, B. J., Kim, J. H., Lim, O. K., and Kim, Y. K., "A Numerical Study on Jet Release from Off-Site and Mobile Hydrogen Refueling Station for Separation Distance", *Fire Science and Engineering*, **35**(6), 75-84, (2021)
- [9] LaChance, J., Houf, W., Middleton, B., Fluer, L., 2009, Analyses to support development of risk-informed separation distances for hydrogen codes and standards (No. SAND2009-0874), Sandia National Laboratories, (2009).
- [10] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST), "Risk Assessment of Hydrogen Fueling Stations and Their Surroundings", (2019)
- [11] Clive Nussey, "Failure frequencies for major failures of high pressure storage vessels at COMAH sites: A comparison of data used by HSE and the Netherlands", 1-36, Health and Safety Executive (2006)
- [12] International Electrotechnical Commission IEC 60079-10-1:2020, "Explosive atmospheres, Part 10-1: Classification of areas Explosive gas atmospheres", (2020)