

수소-CNG 복합충전소 정량적 위험성평가에 관한 연구

†강승규 · 허윤실

한국가스안전공사 가스안전연구원 수소연구실
(2020년 2월 10일 접수, 2020년 2월 22일 수정, 2020년 2월 23일 채택)

A Study on the Quantitative Risk Assessment of Hydrogen-CNG Complex Refueling Station

†Seung-Kyu Kang · Yun-Sil Huh

Korea Gas Safety Corporation, Chungchungbuk-Do, Korea
(Received February 10, 2020; Revised February 22, 2020; Accepted February 23, 2020)

요 약

본 연구는 기존의 CNG충전소에 복합으로 수소충전소를 건설하는 형태의 수소-CNG 복합충전소에 대한 정량적 위험성평가를 수행하였다. 수소충전소와 CNG충전소에서 발생할 수 있는 사고시나리오를 도출하고 각 시나리오에 대한 사고발생빈도를 고려하여 개인적, 사회적 위험도를 계산하였다. 위험성평가 결과 사회적 위험도는 허용 가능 범위에 들어 왔으나, 개인적 위험도에 있어서는 일부 지역에서 허용범위를 벗어나는 구간이 발생하였고, 위험성기여도 분석을 통해 고위험요소를 발굴하였다. 수소-CNG 복합충전소에서는 CNG 저장용기, 압축기, 제어 판넬에서 대규모 누출이 발생할 경우 높은 위험도를 보이게 되며 충전소 전체 위험도의 약 88%를 기여하게 된다. 따라서 이러한 고 위험요소에 대하여는 주기적이고 집중적인 안전관리가 이루어져야 한다.

Abstract - This study performed a quantitative risk assessment for hydrogen-CNG complex refueling stations. Individual and societal risks were calculated by deriving accident scenarios that could occur at hydrogen and CNG refueling stations and by considering the frequency of accidents occurring for each scenario. As a result of the risk assessment, societal risk levels were within the acceptable range. However, individual risk has occurred outside the allowable range in some areas. To identify and manage risk components, high risk components were discovered through risk contribution analysis. High risks at the hydrogen-CNG complex refueling station were large leakage from CNG storage containers, compressors, and control panels. The sum of these risks contributed to approximately 88% of the overall risk of the fueling station. Therefore, periodic and intensive safety management should be performed for these high-risk elements.

Key words : complex refueling station, hydrogen-CNG, risk assessment, individual risk, societal risk

I. 서 론

2000년대 초반 대도시의 대기오염을 줄이고자 경유 시내버스를 천연가스(CNG) 버스로 교체하는

정책을 추진하였다. 지속적인 정부의 보급정책에 힘입어 도심의 시내버스는 대부분 청정연료인 CNG 버스로 교체되었다. 현재 전국에 208개의 CNG 충전소가 운영 중이며 약 4만 여대의 천연가스 차량이 운행 중이다. CNG 버스의 도입 초기에 약 20MPa의 고압가스를 사용하는 차량과 충전소의 안전성에 대한 우려가 많았으며, 안전성 검토를

†Corresponding author: sskang@kgs.or.kr
Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

위한 많은 연구들이 수행되었다[1~3]. 한국을 비롯해 많은 국가들이 친환경 자동차인 수소전기차를 보급하기 위해 적극적인 투자와 정책을 펴고 있다. 그 중에 충전인프라의 확대를 위해 기존의 충전소와 수소충전소를 융·복합하는 형태의 모델이 효율적이고 경제적인 보급 모델로 평가되고 있다. 국내에서도 전국에 운영 중인 주유소, LPG 충전소 및 CNG 충전소를 활용한 수소충전소를 보급하기 위해 융복합 충전소 특례기준을 제정하여 운영하고 있고[4], 관련 규제사항을 점검하여 합리화하는 연구를 수행 중이다[5]. 이러한 융복합 모델 중 CNG 충전소와의 융·복합 모델은 기타 모델에 비해 여러 가지 장점을 가진다. 우선 CNG와 수소가 모두 고압가스를 다루는 충전소이기 때문에 설비구성 및 운영 방식이 매우 유사하여 안전관리에 있어서도 익숙하다는 장점이 있다. 그리고 CNG 충전소는 대부분 대도시 내의 버스차고지 중심으로 운영 중이며 비교적 넓은 공간을 확보하고 있어 수소충전 설비를 설치하기 위한 여유 부지를 확보하는데 유리하다. 또한 천연가스를 개질하여 수소를 생산하는 방식이 현재 기술로는 가장 저렴하게 수소를 생산하여 공급할 수 있는 방법이라는 측면에서 CNG 충전소에 공급되는 천연가스를 이용하여 대량의

수소를 생산하여 공급할 수 있다는 장점을 가진다. 2019년 H2KOREA에서 발표한 융·복합 부지조사 보고서에 따르면 국내 100만 이상 대도시를 중심으로 존재하는 CNG 충전소 94개소에 대한 수소 융복합 가능 부지 평가에서 51개소가 적합한 것으로 평가되었다[6]. 인구와 건물이 밀집된 대도시에 수소충전소를 건축하기 위한 부지확보가 어려운 상황에서 기존 CNG 충전소의 활용은 매우 효과적이고 신속한 수소충전인프라 보급 방안이 될 것이다.

이에 본 연구에서는 기존 CNG 충전소에 수소충전소를 병설할 경우 위험요소를 분석하고 정량적 위험성 평가를 수행하여 위험도를 평가하고 위험을 감소시켜 안전성을 강화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

II. 설비의 구성

CNG충전소와 수소충전소는 가스를 고압으로 압축하여 차량에 충전한다는 점에서 매우 유사한 설비구성을 가진다. CNG차량은 20MPa의 압력을 사용하고 수소전기차는 70MPa의 압력을 사용하고 있으며 각각의 가스를 목표압력으로 충전하기 위해 압축기를 운영한다. CNG는 천연가스를 압축한

Table 1. Components of Hydrogen-CNG combined refueling station

Components		Specification	Gas	Pressure
CNG Facility	Compressor	939Nm ³ /hr*2ea, 1,370Nm ³ /hr*1ea	CH ₄	25MPa
	Storage	1,300 ℓ *4ea	CH ₄	25MPa
	Dispenser	5,459Nm ³ /hr*2ea	CH ₄	25MPa
	Pipe	1/4, 1/2, 3/4 inch	CH ₄	25MPa
	Gas Detector	8ea	-	-
Hydrogen Facility	Compressor	280Nm ³ /hr(@200bar)	H ₂	82MPa
	Storage	721L*3ea 343L*3ea	H ₂	53MPa 82MPa
	Tube Trailer	4,600Nm ³	H ₂	20MPa
	Dispenser	0.12~5kg/min	H ₂	70MPa
	Chiller	10.40RT/43.4kW	-	-
	Gas Detector	7ea	-	-
	Flame Detector	UV-IR Type/4ea	-	-
	Pipe	1 inch, 1/4, 3/8, 9/16 inch	H ₂	25MPa, 82MPa



Fig. 1. Site of hydrogen-CNG complex fueling station

가스로 메탄(CH_4)를 주성분으로 하고 있으며, 도시가스 배관망을 통해 공급받는다. 압축기를 통해 압축된 도시가스를 저장하기 위한 대용량(1,300L)의 압력용기가 설치되며 디스펜서를 통해 차량에 18~20MPa까지 충전을 하게 된다. 수소충전소는 국내의 대부분 충전소가 튜브트레이일러를 통해 수소를 공급 받는 저장식 수소충전소의 형태로 운영된다. 튜브트레이일러로부터 20MPa로 공급되는 수소를 압축기를 통해 53MPa까지 중압, 82MPa의 고압으로 압력용기에 저장한 후 수소전기차에 70MPa까지 압축수소를 충전한다. 수소는 고압으로 충전하는 과정에서 온도 상승이 이루어지기 때문에 충전 중 차량 용기 내부의 온도를 85°C 미만으로 유지하기 위해 냉동기를 통해 -40°C 이하로 냉각하여 충전을 하게 된다. CNG 충전소와 수소충전소에는 가스 누출의 위험이 있는 설비 주위에 가스검지기를 설치하도록 의무화 되어 있고, 특히 수소충전소의 경우 수소화염이 눈으로 식별하기 어려운 특성을 고려하여 화염검지기를 설치하도록 하고 있다. Table 1에 CNG 충전소와 수소충전소의 주요 구성요소를 나타내었으며, Fig. 1에 본 연구의 대상이 되는 충전소의 설치 위치를 나타내었다. 설치 위치는 정량적 위험성 평가 시 주변의 환경 요소를 적용하기 위한 것으로 본 대상지역은 기존에 CNG 충전소가 운영되던 부지에 추가로 수소충전소를 복합의 형태로 건설하여 운영하는 사이트이다. 설치기준은 수소·복합충전소 특례기준을 따랐다.

III. 위험성평가 방법

3.1 사고시나리오 구성 및 발생 빈도데이터

정량적 위험성 평가를 위해서는 대상 시스템에 대한 사고시나리오와 사고 발생빈도에 대한 데이

터가 필요하다. 사고시나리오는 기존에 설비를 운영하면서 발생한 사고 사례나 시스템에 대한 정성적인 위험성평가(HAZOP, FMEA 등)를 통해 발굴된 시나리오를 반영하는 것이 일반적이다. 위험은 사고에 의한 피해영향(Consequency)과 발생빈도(Frequency)의 곱으로 정의되기 때문에 어떤 발생빈도 데이터를 사용하느냐에 크게 영향을 받는다. 현재 국내 충전소에 대한 사고 빈도데이터가 미구축 상태이므로 해외의 검증된 데이터를 사용하였다. CNG 충전소에 설치되는 천연가스 설비는 전세계적으로 오랫동안 운영되어 오면서 많은 데이터가 축적되어 왔다. 본 연구에서는 영국의 DNV에서 운영하는 Leak v3.3 사고데이터베이스를 활용하였다[7]. 수소충전시설에 대하여는 미국의 Sandia 국립연구소에서 제시한 설비별 누출 크기에 따른 누출빈도 데이터를 적용하였다[8]. Sandia 연구소에서 수소충전소에 대한 데이터가 충분하지 않기 때문에 기존의 석유화학시설에서 사용되는 사고빈도데이터 및 산재된 수소설비관련 빈도데이터를 이용하여 Bayesian 통계처리 기법을 사용하여 빈도데이터를 수정하였다. CNG 및 수소충전소에서 발생할 수 있는 최악의 상황인 저장용기의 파열(catastrophic rupture)에 대한 사고 빈도는 영국 HSE의 보고서를 인용하였다[9]. 수소 및 CNG 충전소의 설비별 운전조건과 누출시나리오 그리고 이에 따른 누출빈도데이터를 Table 2에 나타내었다.

3.2 기상조건 및 인구분포

Table 3, 4에 정량적 위험성평가를 위한 기상 및 인구 조건을 나타내었다. 기상조건에서는 4계절이 있는 우리나라의 환경을 고려하여 그 중에서 최악의 조건(Worst Case)으로 볼 수 있는 여름과 겨울의 밤과 낮 조건을 구분하여 사용하였다. 인구분포는 수소 복합충전소의 위치를 기반으로 하여 밤과 낮의 충전소 작업자 및 도로상황을 고려하여 인원을 배치하였다. 이 지역 주변에 민간인이 거주하는 주거시설이 존재하지 않으므로 해석에 고려되지 않았다.

3.3 정량적 위험성평가 방법

본 연구는 수소-CNG 복합충전소의 정량적 위험성평가를 위해 범용 QRA툴인 DNV-GL사의 Safeti를 사용하였다. 본 연구대상 설비에서 발생 가능한 사고 시나리오와 빈도데이터를 기반으로 충전소 주변의 환경조건을 반영하여 개인적 위험도 및 사회적 위험도를 산출하여 대상 시설에 대한 위험성을 평가하였다.

Table 2. Leak scenarios and frequencies of H2 and CNG refueling station facilities

FUEL	Components	Inventory			Leak Scenario	Leak Size (mm)	Leak Frequency (/year)
		Pre. (Mpa)	Temp. (°C)	Mass, Volume			
H ₂	Tube Trailer (TT)	20	40	340kg	Small Leak	0.40	1.07E-03
					Medium Leak	4.02	3.21E-04
					Large Leak	12.70	1.80E-04
					Cat. Rupture	-	5.00E-07
	H ₂ Storage (HST)	82	40	0.686m ³	Small Leak	0.23	3.47E-03
					Medium Leak	2.26	2.09E-04
					Large Leak	7.16	1.02E-04
					Cat. Rupture	-	5.00E-07
	H ₂ Storage (LST)	40	40	0.686m ³	Small Leak	0.25	3.47E-03
					Medium Leak	2.50	2.09E-04
					Large Leak	7.92	1.02E-04
					Cat. Rupture	-	5.00E-07
	Dispenser (DP)	70	-40	-	Small Leak	0.23	7.06E-04
					Medium Leak	2.26	1.85E-04
					Large Leak	7.16	9.88E-05
	Compressor (CP)	82	40	-	Small Leak	0.23	2.76E-03
Medium Leak					2.26	2.62E-05	
Large Leak					7.16	4.24E-06	
Priority Panel(PP)	82	40	-	Small Leak	0.23	1.20E-03	
				Medium Leak	2.26	8.32E-05	
				Large Leak	7.16	3.84E-05	
CNG	Storage (ST)	25	40	5.2m ³	Small Leak	1	7.80E-03
					Medium Leak	5	5.30E-03
					Large Leak	15	8.30E-03
					Cat. Rupture	-	5.00E-07
	Dispenser (DP)	25	40	-	Small Leak	1	7.06E-04
					Medium Leak	5	1.85E-04
					Large Leak	15	9.88E-05
	Compressor (CP)	25	40	-	Small Leak	1	2.00E-02
					Medium Leak	5	7.80E-03
					Large Leak	15	3.90E-03
	Filters (FT)	25	40	-	Small Leak	1	3.90E-03
					Medium Leak	5	1.99E-03
					Large Leak	15	1.55E-03
	Priority Panel (PP)	25	40	-	Small Leak	1	4.37E-03
					Medium Leak	5	1.85E-03
					Large Leak	15	1.11E-03
Valves (VV)	25	40	-	Small Leak	1	4.75E-03	
				Medium Leak	5	2.01E-03	
				Large Leak	15	1.26E-03	

IV. 정량적 위험성평가 결과

4.1 개인적 위험성 평가

피해영향과 사고빈도를 고려한 위험도 기준은 개인적 위험성과 사회적 위험성으로 구분된다. 개인적 위험이란 위험원 근처의 개인에게 미치는 위험으로 정의하고 있으며, 특정 사고로 인해 개인이 사망 또는 부상을 당할 수 있는 확률로 표시된다. 개인적 위험성에 대해 가장 폭넓게 사용되는 허용 기준은 영국의 HSE에서 제안한 기준으로 Table 5와 같다.

이 기준에 따르면 작업자에 대하여는 위험도가 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$ 의 범위에서 허용 가능하고, 일반 대중에 대하여는 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 의 범위로 제시하고 있다. 국내에서는 고압배관 위험성평가 지침에서 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 의 허용범위를 제시하고 있다. 이 기준은 보호시설에 영향이 없도록 하기위하여 HSE의 일반인에 대한 허용기준을 적용한다.

Fig. 2는 수소-CNG 복합충전소에 대한 개인적 위험도 계산결과를 충전소 부지에 표시하였다. 본 연구대상의 복합충전소에서 계산된 개인적 위험도의 최대값은 6.93×10^{-4} 이며, 부지에 표시된 위험범위를 확인해 본 결과 수소충전소 작업장 내에서는 10^{-5} 수준의 위험도가 측정되고, CNG 충전소에서는 10^{-4} 수준의 위험도가 측정된다. 이는 CNG 충전

소의 방호벽 영향이 고려되지 않은 결과로 CNG 충전소에서 높은 위험도를 보이는 CNG 저장용기와 압축기의 대규모 누출에 따른 제트화염의 영향 때문이다. 따라서 실제 충전소의 경우 저장용기와 압축기는 방호벽으로 보호되고 있어 위험범위는 압축기 및 저장용기 보관실로 제한되게 된다. 또한 압축기 및 저장용기실은 방폭구역으로 지정되어 점화원을 엄격하게 관리하고 있으며 가스검지기를 통해 가스누출 시 경보 및 충전시스템을 차단할 수 있도록 안전장치가 설치되어 있다. 작업장 밖의 도로 및 민간지역에도 CNG 충전소 압축기 및 저장용기 대규모 누출 시 1×10^{-4} 이상의 위험구간이 존재하게 되나 작업장 내의 방호벽, 방폭시스템 그리고 가스검지기를 통한 안전관리 등으로 위험이 관리되고 있다.

4.2 사회적 위험성 평가(F-N Curve)

사회적 위험도(Societal risk)는 특정사고가 대중에게 미치는 위험의 정도를 나타내는 것으로서, 특

Table 3. Weather conditions

Weather	Wind [m/s]	Pasquill stability	Temp [°C]
Summer Day	5	D neutral - little sun and high wind or overcast/windy night	30
Winter Day	2	F stable - night with moderate clouds and light/moderate wind	-5
Summer Night	3	D neutral - little sun and high wind or overcast/windy night	20
Winter Night	1.5	F stable - night with moderate clouds and light/moderate wind	-15

Table 4. Population conditions

Population	Operator	Road	Sum.
Day	5	40	45
Night	2	20	22



Fig. 2. Individual risk contours for hydrogen-CNG fueling station

Table 5. HSE individual risk criteria

Criteria	Risk of Fatality Per Year
Unacceptable / Intolerable	$> 1 \times 10^{-3}$
Maximum tolerable risk for workforce	1×10^{-3}
Maximum tolerable risk for members of the public	1×10^{-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	$< 1 \times 10^{-6}$

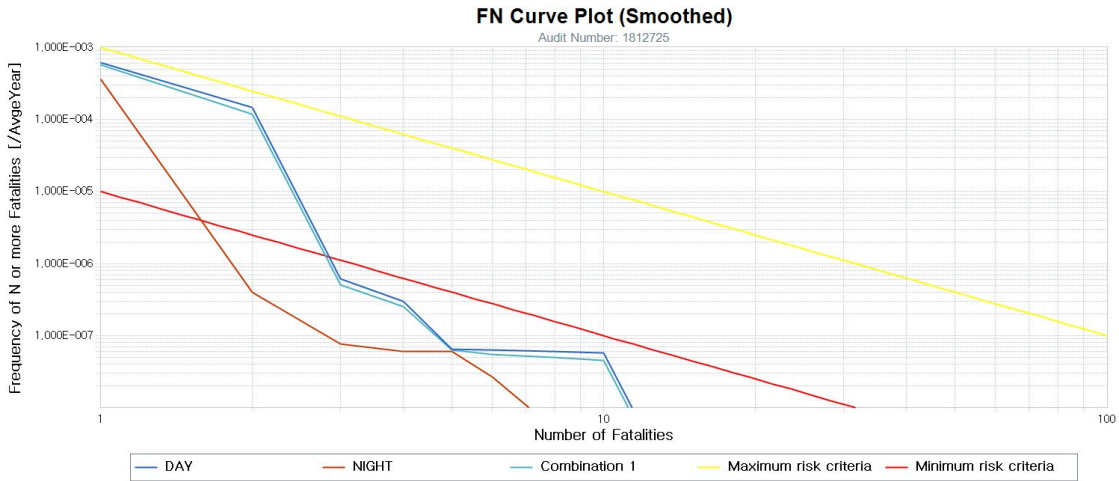


Fig. 3. Societal risk curves for hydrogen-CNG fueling station

정사고의 발생가능성과 사고발생 시 사망할 수 있는 사람의 수로 표현되며 이는 개인 위험도와는 달리 사고 주변의 인구 수, 인구밀도, 사고 지점과의 거리 등에 의해 달라진다. 사회적 위험도의 기준은 사고로 한 번에 다수가 사망할 수 있는 위험에 대하여 사회적으로 수용할 수 있는 기준을 제시한다. 이것은 예상되는 사고의 빈도(F)와 사고결과에 따라 발생하는 예상 사망자 수(N) 사이의 관계로서 F-N (Frequency-Number of fatality) 곡선을 사용하여 나타낸다. 많은 국가가 사회적 위험성 기준이나 가이드라인을 제시하고 있으나 국내에는 아직 충전소에 대한 위험성 기준을 가지고 있지 않아 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되는 영국 HSE 가이드라인을 기반으로 하였다.

해석대상 모델인 수소-CNG 복합충전소의 F-N 곡선을 Fig.3에 나타내었다. 야간보다는 주간 위험성이 크게 나타나고 있다. Combination 1은 주간 80%와 야간 20%를 조합한 결과로서 운영 시간을 기준으로 수소충전소가 대략 주간에 80%가 운영되고, 야간에 20%가 운영되는 것을 가정한 것이다. 사회적 위험도 결과는 주간, 야간, 주·야간 조합의 결과가 모두 허용 가능범위(ALARP, As Low As Reasonably Practicable)에 분포하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구대상의 복합충전소는 사회적 위험도 평가에서 충분히 허용가능한 수준의 위험도가 측정되었으나 개인적 위험도에서는 일부 허용범위를 벗어나는 구간이 발생하였다. 시설의 안전성 향상을 위해 어떤 요소들이 복합충전소의 위험도에 크게 영향을 미

치고 있는지 파악하기 위해 대상 시설의 구성요소별 시나리오에 대한 위험도 순위를 통해 분석하였다. Table 6은 본 CNG-수소 복합충전소의 위험도 순위를 나타내고 있다. 이 결과에 따르면 CNG 충전소의 저장용기에서 대규모 누출이 발생할 경우 가장 높은 위험도를 보이고 있는데 이것이 복합충전소 전체 위험도의 약 52%를 차지하고 있는 것으로 나타났고, 다음으로 CNG 압축기에서의 대규모 누출이 약 27%, CNG 제어 판넬의 대규모 누출이 약 9%를 차지하는 것으로 나타나 이 세 가지의 위험기여도 합이 88%에 달하는 것으로 확인되었다. 그리고 수소충전소에서 높은 위험도를 보이는 요소는 고압수소 저장용기 및 중압수소 저장용기의 대규모 누출로 각각 2.8%, 2.4%의 위험기여도를 보이고 있다. 그 이외의 시나리오는 위험도가 1×10^{-5} 미만으로 위험도가 미미한 수준이다. 고 위험도 시나리오에 대해서는 위험도를 낮추기 위한 안전조치가 필수적이며 주기적이고 집중적인 안전관리가 이루어져야 한다.

V. 결론

본 연구는 기존의 CNG충전소에 복합으로 수소충전소를 건설하는 형태의 수소-CNG 복합충전소에 대한 정량적 위험성평가를 수행하였다. 수소충전소와 CNG충전소에서 발생할 수 있는 사고시나리오를 도출하고 각 시나리오에 대한 사고발생빈도를 고려하여 개인적, 사회적 위험도를 계산하였다. 위험성평가 결과 사회적 위험도는 허용가능 범위에 들어 왔으나, 개인적 위험도에 있어서는 일부 지역에서 허용범위

Table 6. Risk ranking by risk integral percent

Model Name	Model Frequency [/AvgeYear]	Average Fatalities	Risk Integral Percent	Risk Integral [/AvgeYear]
CNG-ST-Large Leak	8.30E-03	4.33E-02	51.81	3.59E-04
CNG-CP-Large Leak	3.90E-03	4.75E-02	26.70	1.85E-04
CNG-PP-Large Leak	1.11E-03	5.44E-02	8.72	6.04E-05
H2-HST-Large Leak	1.02E-04	1.89E-01	2.79	1.93E-05
H2-LST-Large Leak	1.02E-04	1.60E-01	2.36	1.64E-05
H2-DP-Large Leak	9.88E-05	9.94E-02	1.42	9.82E-06
CNG-CP-Medium Leak	7.80E-03	1.17E-03	1.32	9.16E-06
H2-TT-Large Leak	1.08E-04	7.75E-02	1.21	8.37E-06
CNG-ST-Medium Leak	5.30E-03	1.17E-03	0.89	6.18E-06
H2-PP-Large Leak	3.84E-05	1.07E-01	0.59	4.12E-06
CNG-DP-Large Leak	9.88E-05	3.80E-02	0.54	3.76E-06
H2-TT-Medium Leak	3.21E-04	1.01E-02	0.47	3.25E-06
CNG-PP-Medium Leak	1.85E-03	1.04E-03	0.28	1.93E-06
H2-DP-Medium LeakLeak	1.85E-04	9.93E-03	0.27	1.84E-06
H2-PP-Medium Leak	8.32E-05	1.26E-02	0.15	1.05E-06
H2-HST-Medidum Leak	2.09E-04	4.13E-03	0.12	8.64E-07
Tube Trailer Cat. Rupture	5.00E-07	1.41E+00	0.10	7.03E-07

를 벗어나는 구간이 발생하였고, 위험성기여도 분석을 통해 고위험요소를 발굴하였다. 수소-CNG 복합충전소에서는 CNG 저장용기, 압축기, 제어 판넬에서 대규모 누출이 발생할 경우 높은 위험도를 보이게 되며 충전소 전체 위험도의 약 88%를 기여하게 된다. 따라서 현재 CNG 충전소의 저장용기, 압축기, 제어 판넬 실은 방호벽으로 보호하여 주변으로 피해가 확산되지 않도록 관리하고 있으며, 누출 시 화재폭발을 방지하기 위해 방폭구역선정 및 가스검지기 설치를 통해 관리 되고 있다. 이러한 안전조치에도 불구하고 고 위험요소에 대하여는 주기적이고 집중적인 안전관리가 요망된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 “수소 용·복합스테이션 위험성 평가 및 연구” 과제입니다.(No.20162220100180)

REFERENCES

- [1] Jae-Sun Ko, Hyo Kim, “ The Fire Risk Assessment in Compressed Natural Gas Buses & Gas Station”, *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 18, No. 2, pp. 57-67, (2004)
- [2] N. Badry, Bahman Abdolhamidzadeh, Davod Rashtchian, “Application of Quantitative Risk Assessment for a CNG Refueling Station”, *2nd National conference on safety engineering and HSE management*, (2008)
- [3] Naser Badri, Farshad Nourai, Davod Rashtchian, “Quantitative Risk Assessment to Site Cng Refueling Stations”, *4th International Conference on Safety & Environment in Process Industry*, Volume: 19, (2010)
- [4] *Notice of Establishing Special Criteria for Complex and Packaged Hydrogen Fuel Cell Vehicle Refueling Station Facility Standards*, Korea Mini-

- stry of Trade, Industry and Energy Notice No. 2016-130, (2016)
- [5] JIWON PARK, YUNSIL HUH, SEUNGKYU KANG, “A Study on Site to Build Hydrogen Multi Energy Filling Station in Domestic LPG Station”, *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 28, No. 6, pp. 642-648, (2017)
- [6] *Hydrogen distribution structure analysis and price setting - Hydrogen station site survey*, H2KOREA Working Group Report, (2019)
- [7] Leak v3.3, DNV, (2011)
- [8] Jeffrey LaChance, William Houf, Bobby Middleton, and Larry Fluer, “Analyses to Support Development of Risk-Informed Separation Distances for Hydrogen Codes and Standards”, *SANDIA REPORT*, SAND2009-0874, (2009)
- [9] 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*, HSE, pp.28, (2006)