



## 액화수소 충전스테이션에서 VCE로 인한 피해영향평가에 관한 연구

이수지 · \*천영우 · 이익모 · 황용우

인하대학교 대학원 환경안전융합전공

(2017년 6월 10일 접수, 2017년 9월 9일 수정, 2017년 9월 28일 채택)

## A Study on the Evaluations of Damage Impact due to VCE in Liquid Hydrogen Charging Station

Suji Lee · \*Young Woo Chon · Ik Mo Lee · Yong Woo Hwang

Dept. of Environment and Safety Convergence, Inha University, Incheon, Korea

(Received June 10, 2017; Revised September 9, 2017; Accepted September 28, 2017)

### 요약

전세계적으로 수소 충전 스테이션 구축에 많은 투자와 지원을 하고 있는 실정이다. 그러나 수소는 폭발범위가 넓고 확산이 빠른 기체이다. 본 연구에서는 액화수소를 취급하는 소규모~대규모 충전스테이션을 대상으로, 사고시 발생하는 VCE로 인한 피해영향범위를 산출하고, 프로비트 모델을 통해 주변의 인적, 물적 피해를 예측하였다. 더불어, 벤트스택 끝단에서 발생 가능한 Jet fire를 시나리오로 선정하여 최적 높이를 설정하였다. 피해영향범위는 관심과압 6.9kPa을 기준으로 하여, 소규모 저장시설의 경우 8.24m, 중규모 14.10m, 대규모 22.38m이다. 폐출혈로 인한 인체 피해는 소규모와 중규모가 각각 50m, 대규모 100m였으며, 구조물 손상에 따른 피해는 소규모 200m, 중규모 300m 및 대규모 500m이다. 벤트스택의 최적높이는 소규모 4.7m, 중규모 8.8m 및 대규모 16.9m이다.

**Abstract** - Hydrogen charging station was invested and supported around the world. In this study, the extent of damage caused by VCE in the charging station handling liquefied hydrogen was calculated, and the human and material damage was estimated through the Probit model. In addition The optimal height of vent stack for low temperature hydrogen was set. The damage range is 8.24m in small scale, 14.10m in medium scale, and 22.38m in large scale based on interest overpressure 6.9kPa. In case of death due to pulmonary hemorrhage, 50m of the small and medium scale and 100m of the large scale were injured. Structural damage was 200m in small scale, 300m in medium scale and 500m in large scale. The optimum height of the vent stack is 4.7 m in small scale, 8.8 m in medium scale and 16.9 m in large scale.

**Key words** : Liquid Hydrogen Charging Station, VCE(Vapor Cloud Explosion), Probit Model, Vent Stack

### 1. 서론

화석연료의 고갈 및 환경오염으로 인해 대체 에너지에 대한 관심이 높아지면서 'Clean energy'인 수소가 차세대 에너지원으로 각광을 받고 있다. 전 세계적으로 수소경제사회를 구축하기 위한 투자와

지원에 힘입어 수소에너지 시장이 증가하고 있는 추세이다. 2020년 수소에너지 시장은 1,400억 달러 이상으로 확대될 것으로 기대되고 있으며, 2040년 수소 연료전지 자동차의 점유율이 90% 이상일 것으로 예상된다[1]. 국내에서도 수소 충전스테이션에 대한 실증 및 보급사업 등을 통하여 이미 19개소가 구축이 되었으며, 2017년 3월에 준공식을 치른 창원시를 포함하여 11개소의 수소 충전 스테이션이 운영 중이다[2].

\*Corresponding author: young-woo.chon@lr.org  
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

액체수소는 기체수소의 약 848배의 저장밀도를 지니고 있다. 또한 고압 수소가스의 2.8배에 달하는 에너지 함량을 가지고 있으므로, 수소 연료전지 자동차에 사용할 경우 1회 충전으로 2배 이상 주행이 가능하다는 장점이 있다[3]. 이로 인해, 액화수소는 수소 연료전지 자동차, 무인기 등에 적용되고 있으며, 유럽, 미국, 일본 등 선진국에서는 다양한 분야에서 액체수소를 사용하고 있다[4].

일반적으로 수소는 기체 중 열전도율이 가장 크고, 점화에너지가 작아서 점화가 쉽게 일어난다. 공기와 혼합하여 화재 및 폭발을 동반할 수 있으며, 폭발범위가 넓고, 확산이 매우 빠른 가연성가스이다. 더욱이 액체 수소는 끓는점이  $-252.8^{\circ}\text{C}$ 인 극저온 액체이기 때문에, 취급시 성능이 우수한 특수 단열용기가 요구된다. 현재 기술의 한계와 액체수소의 특성상 저장용기 내 열유입으로 인하여 약 3~6%/day의 증발손실이 발생한다[5,6].

이러한 증발손실은 저장용기의 내압 상승으로 인한 폭발을 야기할 수 있다. 수소 증기는 누출가스의 점화에 의하여 화재 위험성이 존재하며, 영향범위가 수십 ~ 수백미터에 이른다. 따라서 저온수소 증기 배출 또는 비상시 배출을 위한 벤트스택 설계시 화재로 인한 피해를 충분히 고려하여 높이를 설정하여야 한다. 또한, 수소 충전 스테이션이 위치하게 될 도심지역은 밀집도가 높기 때문에 사고가 발생할 경우, 인근의 인적, 물적 피해가 상당히 클 것으로 예상되기 때문에 피해영향범위 산정을 통해 안전거리를 확보하여야 한다[7]. ‘용복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준’에 따르면 수소자동차 충전시설에 설치된 주요설비 및 화기를 취급하는 장소 사이의 안전거리를 8m로 규정하고 있다[8].

따라서 본 연구에서는 인천에 소재하는 액화수소를 취급하는 가상의 수소 충전 스테이션을 대상으로 설정하였고, 수소 연료전지 한 대당 5kg 충전을 기준으로 하여 소규모(100kg), 중규모(500kg), 대규모(2,000kg)의 저장용기에서 누출로 인한 VCE (Vapor Cloud Explosion)가 발생할 경우의 피해영향범위를 산정하였다. 그리고 프로빗 분석을 통해 인근의 인적, 물적 피해영향을 평가하여 규정에서 제시된 안전거리를 검증하였다. 또한, PHAST를 이용하여 벤트스택 끝단에서 발생 가능한 Jet fire로 인한 복사열을 시나리오로 설정하여, 밀집도가 높은 도심지역 내의 사람 신장을 고려하여 지상으로부터 2m 지점에 닿지 않는 최적의 스택 높이를 구하였다.

## II. 이론배경 및 연구방법

인천에 소재하는 액화수소 충전 스테이션(소규모 100kg, 중규모 500kg, 대규모 2,000kg)을 대상으로 하였으며, 최악의 시나리오를 선정하여 전량 누출을 가정하였다. 기상조건은 액화수소 저장용기에서 내부와 외부의 온도차로 인한 증발손실이 발생할 가능성이 가장 높은 여름으로 정하였다. 인천의 여름 평균기온(7월~9월) 데이터를 활용하여 풍속은 2.07m/s, 기온 25.77 $^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 67.1%로 설정하였다.

### 2.1. TNT equivalency model

TNT equivalency model은 연소열과 폭발효율을 결정하여 VCE를 예측하고 과압(Overpressure)을 산정하는 모델이다[9]. 이를 활용하여 과압에 따른 피해 영향범위를 도출하였다. TNT당량은 식(1)을 이용하여 계산한다. 환산거리  $Z$ 는  $Z$ 할수로 표시할 수 있으며, Scaling 법칙을 사용하여 식(2)와 같이 나타낸다. 일정거리에서의 과압은 식(3)을 이용하여 계산하며[10], Fig. 1과 같이 나타낸다.

수소의 연소열은 143,000kJ/kg, TNT 연소열은 4,200kJ/kg(= 1,000kcal/kg)이며, 폭발효율  $\eta$ 는 ‘사고피해예측기법에 관한 기술지침’에 따라 10%로

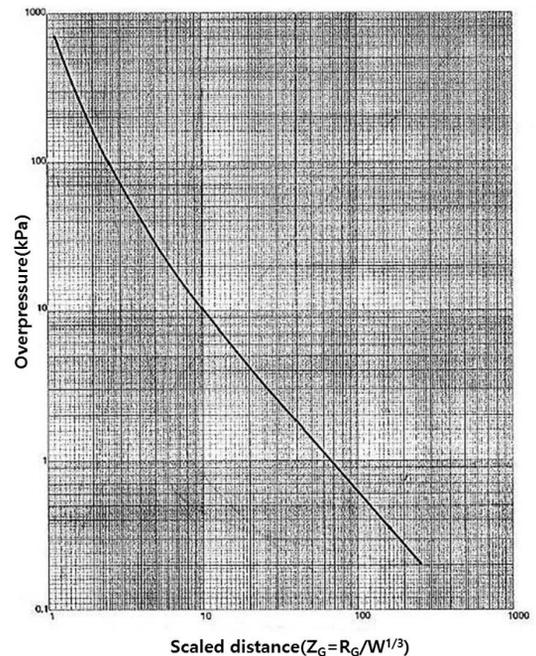


Fig. 1. TNT overpressure curve.

설정하였다[11]. 관심과압은 6.9kPa(신체를 침투할 수 있는 속도로 비산, 목재건물 일부 파괴), 13.8kPa(목재건물 대부분 파괴, 벽돌 피복 날아감), 34.5kPa(고막파열, 강철 및 콘크리트 강화건물 전체 파괴)로 구분하여 선정하였다[12].

$$W_{TNT} = \frac{\eta \times H_c \times M_c}{H_{TNT}} \quad (1)$$

where,

$W_{TNT}$ : TNT equivalent (kg)

$M_c$ : Mass of the hydrogen gas (kg)

$H_c$ : Heat of combustion of the hydrogen (kJ/kg)

$H_{TNT}$ : Heat of combustion of TNT (kJ/kg)

$\eta$ : Explosion coefficient

$$Z = R_C / W_{TNT}^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

where,

$Z$ : Scaled distance (m/kg<sup>1/3</sup>)

$R_C$ : Distance from the center of explosion (m)

$$P_s = \frac{80,800 \left\{ 1 + \left[ \frac{Z}{4.5} \right]^2 \right\}}{\sqrt{1 + \left[ \frac{Z}{0.048} \right]^2} \sqrt{1 + \left[ \frac{Z}{0.32} \right]^2} \sqrt{1 + \left[ \frac{Z}{1.35} \right]^2}} \quad (3)$$

where,

$P_s$ : Peak overpressure(N/m<sup>2</sup>)

## 2.2. 프로빗 분석

‘프로빗(Probit) 분석’은 사고의 피해 변수와 백분율의 관계를 실험식을 이용하여 분석하는 것이다.

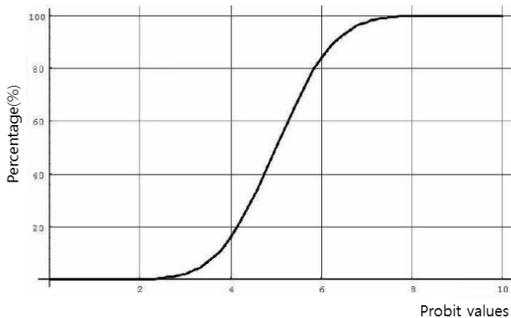


Fig. 2. Correlation diagram between probit values and percentage.

과압 피해영향을 산정하기 위한 프로빗 계산식은 과압과 임펄스의 함수이며, 이를 이용하여 폭풍 과압의 영향에 의한 피해를 예측하였다[13]. ‘아이젠버그(Eisenberg) 계산식’을 이용하여 과압으로 인한 프로빗을 계산함으로써 인체와 구조물에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 ‘사고시나리오 선정에 관한 기술지침’의 최악의 시나리오에 따라 600초(10분)동안 인체 및 구조물이 폭발 과압 영향을 받는 것으로 설정하여 프로빗을 분석하였다[14]. 인체 영향평가는 식(4)와 식(5)를 이용하여 각각 폐출혈로 인한 사망의 경우와 고막파열이 발생할 경우를 예측하였다. 여기서, 피크 과압( $P_s$ )은 대기압 이상에서 순최대압력을 의미한다. 그리고 구조물 영향평가는 식(6)과 식(7)을 이용하여 각각 구조물 손상의 경우와 유리파손의 경우를 예측하였다.

$$Probit = -77.1 + 6.91 \ln(P_s) \quad (4)$$

$$Probit = -15.6 + 1.93 \ln(P_s) \quad (5)$$

$$Probit = -23.8 + 2.92 \ln(P_s) \quad (6)$$

$$Probit = -18.1 + 2.79 \ln(P_s) \quad (7)$$

Table 1. Correlation table between probit values and percentage

Percentage (%)	Probit values									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.65	7.88	8.09

**Table 2.** Overpressure effect on unprotected residents

Effect	Permissible overpressure(kPa)
Rupture of the eardrum	34.5
A fatal head injury	55.2
Severe lung injury	68.9
Fatal physical injury	75.8

**Table 3.** Overpressure effect by building element

Building element	Overpressure (kPa)	Strength of damage
Glass window	1.4	Be damaged
Glass window	3.4-6.9	Dispersed enough to penetrate the body
Wooden frame	6.9-13.8	Structure destruction and potential collapse
Steel sheath	6.9-13.8	Damage to walls, ceilings and furniture
Concrete asbestos sheath	6.9-13.8	Shattering
Brick sheath	13.8-20.7	Dispersed
Non-reinforced brick	6.9-20.7	Wall collapse, potential dispersion

식(8)은 프로비트 변수와 백분율 값과의 관계를 나타낸 것이며, 이를 도식화 하면 Fig. 2로 표현된다. Table 1은 프로비트 변수와 백분율의 상관관계표를 나타낸 것이다.

$$P = 50 \left[ 1 + \frac{P_r - 5}{|P_r - 5|} \operatorname{erf} \left( \frac{|P_r - 5|}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (8)$$

where,

P : Percentage(%)

P<sub>r</sub> : Probit variable

erf : Error function

Table1은 과압에 의한 인적, 물적 피해정도를 나타낸 것으로서, Table 2는 비보호된 거주자의 과압 영향, Table 3은 건물의 재질별 과압 영향을,

**Table 4.** Overpressure effect by building material

Building element	Overpressure (kPa)	Strength of damage
Wooden building	6.9	Building abalone, roof and walls destroyed
	13.8	Mostly destroyed
	34.5	Whole destroyed
Engineering steel frame building	10.3	Removal of coating, Damage of inner wall, Risk of fallen object
	17.2	The building is retained but the inner walls are destroyed enough to warp.
	34.5	Whole destroyed
Non-reinforced wall building	6.9	Some walls destroyed
	8.6	Walls and roofs partially destroyed
	10.3	Mostly destroyed
	20.7	Whole destroyed
Steel and concrete reinforced walls	10.3	Wall damaged
	13.8	Roof slabs destroyed
	17.2	Most frames destroyed
	34.5	Whole destroyed
Reinforced concrete building	27.6	Roof and wall warped, inner walls damaged
	41.4	The building was severely damaged and destroyed.
	82.7	Whole destroyed

Table 4는 건물의 요소별 과압 영향을 나타낸 것이다[12].

### 2.3. 벤트스택 최적 높이 산정

「수소 벤트스택 및 벤트배관의 공정설계에 관한 기술지침」에서는 대기확산모델링을 사용하여 저온수소증기용 벤트스택을 설정하여 최저높이를 바닥으로부터 7.5m로 제시하였다[15].

본 연구에서는 PHAST를 이용하여 벤트스택 끝단에서 발생가능한 Jet fire로 인한 복사열 피해영향을 평가하여 벤트스택의 높이를 설정하였다. 여기서, PHAST는 정량적 위험성 평가 소프트웨어로 공정

Process에서 발생할 수 있는 화재, 폭발 및 독성의 영향과 위험을 분석하는 프로그램이다. 관심복사열은 인구밀도가 높은 도심을 고려하여 인간에게 미치는 피해를 기준으로,  $4\text{kW/m}^2$ (20초 내에 보호되지 않으면 통증을 느끼며 피부가 부풀어 오름)로 선정하였다. 누출량은 하루동안 발생하는 최대 기화손실 6%를 적용하였으며, 20초 동안 전량 누출되는 것으로 가정하였다. 벤트스택의 높이는 도심내의 거주자의 안전을 고려하여 복사열이 지상으로부터 평균 사람의 신장 이상인 2m에 닿지 않도록 설정하였다. Table 5는 PHAST 입력값을 나타낸 것이다. 인천의 여름 평균 기온을 적용하였으며, 수평으로부터의 기울기는 90 deg로 가정하였다.

**Table 5.** PHAST input data

Classification	Value
Material	HYDROGEN
Atmospheric stability	F
Wind speed	2.07 m/s
Relative humidity	67.1%
Jet fire model type	Cone model
Post-expansion jet temperature	0 degC
Inclination of jet from horizontal	90 deg
Jet fire maximum exposure duration	20 s
Radiation levels	$4.0 / 12.5 / 37.5 \text{ kW/m}^2$
Radiation ellipse	Yes
radiation contours	Yes
Radiation ellipse type required	Incident radiation
Specified radiation intensity	$4 \text{ kW/m}^2$
Generate radiation side view?	Yes
Distance crosswind of release source	0m

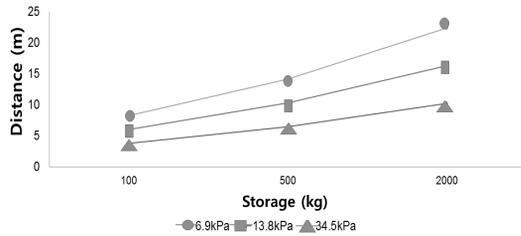
### III. 결 과

#### 3.1. VCE 피해영향범위

식(1)~식(3)을 이용하여 액화수소 누출시 폭발로 인한 관심과압 피해영향범위를 Table 6과 Fig. 3에

**Table 6.** The distance of interest overpressure

Storage(kg)	Overpressure(kPa)		
	6.9	13.8	34.5
100	8.24 m	5.99 m	3.76 m
500	14.10 m	10.24 m	6.43 m
2000	22.38 m	16.26 m	10.21 m



**Fig. 3.** Effect distance of interest overpressure.

**Table 7.** Probability of death due to pulmonary hemorrhage caused by overpressure

(Unit : %)

Distance(m)	Storage(kg)		
	100	500	2000
10	100	100	100
50	0	0	2.3247
100	0	0	0
150	0	0	0
200	0	0	0
250	0	0	0
300	0	0	0
350	0	0	0
400	0	0	0
450	0	0	0
500	0	0	0

나타내었다. 소규모(100kg)의 경우 6.9kPa이 8.24m, 34.5kPa이 3.76m이고, 중규모(500kg)의 경우 6.9kPa이 14.10m, 34.5kPa이 6.43m이며, 대규모(2000kg)의 경우 6.9kPa이 22.38m, 34.5kPa이 10.21m로 나타났다.

**3.2. 인체 영향에 따른 안전거리**

식(4)와 식(5)를 이용하여 폐출혈로 인한 사망의 경우와 고막파열의 경우를 각각 예측하였다. Table 7은 폐출혈로 인한 사망의 경우를 나타낸 것이다. 전규모 모두 10m에서 100% 사망률을 보였으며, 소규모와 중규모 50m, 대규모 100m에서 0%로 나타났다. Table 8은 고막파열의 경우를 나타낸 것이다. 고막파열 또한 10m에서는 전규모 모두 약 100% 상해를 입는 것으로 나타났으며, 소규모 200m, 중규모 300m 및 대규모 500m에서 0%로 나타났다.

**3.3. 구조물 영향에 따른 안전거리**

식(6)과 식(7)을 이용하여 구조물 손상의 경우와 유리파손의 경우를 각각 예측하였다. Table 9는 구조물 손상의 경우를 나타낸 것이다. 소규모의 경우 10m, 중규모와 대규모의 경우 50m까지 약 100%의 손상률을 보였으며, 소규모 200m, 중규모 300m 및 대규모 500m에서 0%로 나타났다. Table 10은 유리파손의 경우를 나타낸 것이다. 소규모의 경우 150m에서 51.9532%, 중규모의 경우 250m에서 55.0299%

및 대규모의 경우 400m에서 54.0829%로 매우 멀리까지 영향을 받는 것으로 나타났다.

**Table 9.** Probability of rupture of damage of structure caused by overpressure  
(Unit : %)

Distance(m)	Storage(kg)		
	100	500	2000
10	100	100	100
50	28.5767	98.5051	100
100	0.0584	10.7445	81.7615
150	0.0002	0.2632	15.8140
200	0	0.0081	1.5658
250	0	0.0004	0.1528
300	0	0	0.0169
350	0	0	0.0022
400	0	0	0.0003
450	0	0	0.0001
500	0	0	0

**Table 8.** Probability of rupture of tympanic membrane caused by overpressure  
(Unit : %)

Distance(m)	Storage(kg)		
	100	500	2000
10	99.9997	100	100
50	2.6290	44.8616	96.2043
100	0.0104	0.8560	16.7185
150	0.0002	0.0326	1.2982
200	0	0.0025	0.1407
250	0	0.0003	0.0214
300	0	0	0.0042
350	0	0	0.0010
400	0	0	0.0003
450	0	0	0.0001
500	0	0	0

**Table 10.** Probability of rupture of glass caused by overpressure  
(Unit : %)

Distance(m)	Storage(kg)		
	100	500	2000
10	100	100	100
50	99.9947	100	100
100	90.5892	99.9387	100
150	51.9532	96.0081	99.9730
200	21.1015	79.2178	99.0878
250	7.3725	55.0299	94.3815
300	2.4424	33.7867	83.9718
350	0.8028	19.2056	69.5022
400	0.2675	10.4329	54.0829
450	0.0913	5.5270	40.1134
500	0.0321	2.8925	28.7089

**Table 11.** Optimum height of vent stack for low temperature hydrogen vapor

Storage (kg)	Leak rate (kg/s)	Stack height (m)
100	0.3	4.7
500	1.5	8.8
2000	6	16.9

### 3.4. 수소 벤트스택 최적 높이

Table 11은 PHAST를 이용하여 저온 수소증기용 벤트스택의 최적높이를 설정한 결과값을 나타낸 것이다. 대기확산모델링을 이용하여 설정된 저온수소 증기용 벤트스택의 최저 높이는 7.5m로 제시되어 있다[14]. 본 연구에서 PHAST를 이용하여 벤트스택 끝단의 Jet fire를 시나리오로 한 질량별 벤트스택 높이 설정값은 소규모 4.7m, 중규모 8.8m 및 대규모 16.9m이다.

## VI. 결론

본 연구는 인천소재의 가상 액화수소 충전스테이션(소규모~대규모)을 대상으로 하였으며, 전량 누출이 발생하는 최악의 시나리오를 적용하여, 액화수소 누출로 인한 VCE의 피해영향범위를 도출하고, 수소증기 벤트스택의 안정적인 최적 높이를 설정한 것이다.

본 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 피해영향범위는 관심과압 6.9kPa를 기준으로 하여 소규모 저장시설의 경우 8.24m, 중규모 14.10m, 대규모 22.38m이었다. 폐출혈로 인한 인체 피해는 소규모와 중규모가 50m, 대규모 100m였으며, 구조물이 손상되는 피해는 소규모 200m, 중규모 300m 및 대규모 500m이었다.

(2) ‘융복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준’에서는 수소자동차 충전시설에 설치된 주요설비 및 화기를 취급하는 장소 사이의 안전거리를 8m로 규정하고 있다. 하지만 본 연구에서 수행한 최악의 시나리오에서의 과압의 영향범위 산정과 Probit 분석 결과에 따르면, 인천 수소 스테이션에서 주변의 주요설비, 점화원 및 사무실과의 최소 안전거리는 10m 이상으로 설정하여야 한다.

(3) 수소 증기는 누출가스의 점화에 의하여 화재 위험성이 존재한다. 따라서, 저온수소증기용 벤트스택 설계 시 화재로 인한 피해를 충분히 고려하여

벤트스택의 높이를 설정하여야 한다. 소규모의 경우 4.7m, 중규모의 경우 8.8m, 대규모의 경우 16.9m이다.

그러나 실제적으로 밀집도가 높은 도심지역에서 이와 같은 안전거리를 유지하기 어려운 경우에는 주요시설과 수소 충전스테이션 경계 사이에 방호벽을 설치하는 등 피해거리를 완화할 수 있도록 조치를 취해야 한다.

본 연구는 수소 충전스테이션 구축 시 안전설계에 관한 기초자료로 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] Sim, K. S., 'Hydrogen energy utilization technology development and prospect', Korea Institute of Energy Research
- [2] Park, Y.H., "Current status of supply of hydrogen electric vehicles and establishment of charging stations in major countries @ Hyundai Motor", EBN News
- [3] Park, S.J., "Review of Hydrogen Storage and Hydrogen Storage Technology Development Trends", Energy Management News
- [4] Kim, W. S., Koo, Y.D., "Hydrogen Energy's Advance guard, Hydrogen station domestic landing", Korea Institute of Science and Technology Information
- [5] Paik, J.H., Kim, S.Y., "'Hydrogen Liquefaction and Cryogenic Storage Technology," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 53(4), 38-43, (2013)
- [6] Cho, Y.D., Kim, J.J., "A Study on Mitigation Techniques for Liquid Hydrogen Accident," *KIGAS*, 16(6), 29-33, (2012)
- [7] Joint ministry, Kim, S.H., "The 3rd Basic Plan for the Development and Promotion of Environmentally Friendly Vehicles' (15.12.8)"
- [8] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Notification of Exceptional Standards on Fusion · Combined and Packaged Vehicle Station Facilities Standards", No.1206-130, 2016.07.07.
- [9] Lim, S.H., Heo, Y.J., 'A Study on the Prediction of Life Damage due to VCE in the LPG Vehicle Station', *KIGAS*, 14(2), 15-21, (2010)
- [10] Release A.R. Soman1, G.Sundararaj "Consequence Assessment of Vapour cloud Explosion Involving Hydrogen", *International Jour-*

- nal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(11), 2250-2459, (2012)
- [11] KOSHA, "Technical Guidelines on Accident Damage Prediction Techniques", P-102-2012, (2012)
- [12] KOSHA, "Technical Guidance on Risk Management of Factory Buildings", P-4-2012, (2012)
- [13] KOSHA, "Technical Guidelines for the Assessment of Impact of Accident damage", 03. At the time of explosion Impact assessment, P-88-2012, (2012)
- [14] National Institute of Chemical Safety, "Technical Guidelines for Selection of Accident Scenario", (2014)
- [15] KOSHA, "Technical Guidelines on Process Design of Hydrogen Vent Stack and Vent Piping", P-42-2012, (2012)