

수소 Tube Trailer 저장시설에서의 수소가스 누출에 따른 사고피해예측에 관한 연구

A Study of Damage Assessment Caused by Hydrogen Gas Leak in Tube Trailer Storage Facilities

김종락[†] · 황성민* · 윤명오**

Jong-Rak Kim[†] · Seong-Min Hwang* · Myong-O Yoon**

서울시립대학교 일반대학원 재난과학과, *인천대학교 대학원 안전공학과, **서울시립대학교 재난과학과
(2011. 6. 14. 접수/2011. 11. 2. 수정/2011. 12. 9. 채택)

요 약

산업현장에서 폭발성가스의 사용이 꾸준히 증가 함에 따라 작업자는 물론 일반지역주민들에게까지 사고로 인한 생명에 위협을 처하기도 한다. 수소사용공정에서의 사고피해는 공정자체에 국한 되는 것이 아니라 대형화재나 폭발로 이어져 다수의 사상자를 유발시키므로 사고의 유형과 원인을 규명하고 피해규모를 예측하여 이에 대한 안전대책을 수립, 운영하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 MLCC(Multi Layer Ceramic Capacitor) 소성공정의 수소저장 사용시설에서 화재 폭발시 위험범위를 예측하였다. 실제 사고데이터의 분석결과 사고발생빈도가 가장 많은 배관누출에 대하여 사고 피해예측 시나리오 모델로 선정, 적용하였다. 10 mm Hole에서 120 Bar의 압력으로 수소가스 누출시 Jet fire가 발생되며 Radiation Level 4(kw/m²)의 경우 최대 12.45 m까지 복사열의 영향을 주었다. 또한 사고피해 예측을 통한 안전성확보와 개선방안을 제시하였다.

ABSTRACT

As the using rate of an explosive gas has been increased in the industrial site, the regional residents adjacent to the site as well as the site workers have frequently fallen into a dangerous situation. Damage caused by accident in the process using hydrogen gas is not confined only to the relevant process, but also is linked to a large scale of fire or explosion and it bring about heavy casualties. Therefore, personnel in charge should investigate the kinds and causes of the accident, forecast the scale of damage and also, shall establish and manage safety countermeasures. We, in Anti-Calamity Research Center, forecasted the scope of danger if break out a fire or/and explosion in hydrogen gas facilities of MLCC firing process. We selected piping leak accident, which is the most frequent accident case based on an actual analysis of accident data occurred. We select and apply piping leak accident which is the most frequent case based on an actual accident data as a model of damage forecasting scenario caused by accident. A jet fire breaks out if hydrogen gas leaks through pipe size of 10 mm Φ under pressure of 120 bar, and in case of 4 kw/m² of radiation level, the radiation heat can produce an effect on up to distance of maximum 12.45 meter. Herein, we are going to recommend safety security and countermeasures for improvement through forecasting of accident damages.

Key words : Consequence analysis, Damage assessment, Tube trailers, Hydrogen

1. 서 론

산업현장에서 위험물질의 사용이 생산량 증가와 비례하여 지속적으로 증가함에 따라 작업자는 물론 일반

지역 주민들에게까지 사고로 인한 생명에 위협을 주기도 한다. 수소사용공정에서의 사고피해는 공정자체에 국한 되는 것이 아니라 대형화재나 폭발로 이어져 다수의 사상자를 유발시키므로 사고의 유형과 원인을 규명하고 피해규모를 예측하여 이에 대한 안전대책을 수립, 운영하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 MLCC(Multi

[†]E-mail: kimjongrak@samsung.com



Figure 1. Interior system of storage & supply facilities of hydrogen gas.

Layer Ceramic Capacitor) 소성공정(Firing process)의 수소저장 사용시설에서 배관누출로 인한 화재폭발 사고를 피해예측시나리오 모델로 선정하여 실제 사고데이터 값 및 누출량 사고지점까지의 배관길이 화재폭발 피해예측 프로그램인 PHAST 6.5ver를 이용하여 사고발생시 나타나는 화재의 유형과 복사열의 영향, 농도 분포 등을 분석한 피해영향평가를 실시함으로써 배관누출에 의한 화재폭발사고에 대한 안전성확보하고 그 대응책을 제시하고자 하였다.

2. 수소저장 사용시설

2.1 공정 개요

MLCC(Multi Layer Ceramic Capacitor)는 유전체에 전압을 인가하여 유전체 물질의 두께에 대한 전극면적에 따라 전하를 축적하는 기능을 하는 수동부품으로 정전용량 및 정격전압의 용도에 따라 유전체 층과 전극면적을 소형 박막으로 다층화한 Chip type의 전하를 일시적으로 저장하는 콘덴서의 일종이다. 소성공정(Firing process)은 이러한 MLCC 제조 주요공정중 하나의 핵심공정으로 세라믹 파우더, 고분자 결합제, 분

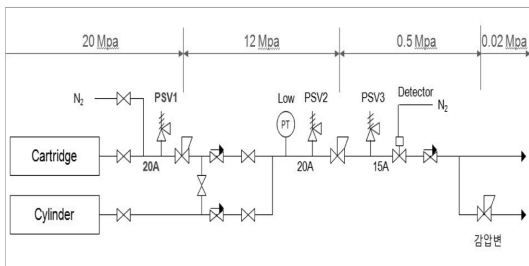


Figure 2. Flow diagram of storage & supply system.

산제, 용매의 고른 혼합을 통해 만들어 지는 슬러리를 소성로를 이용하여 소결시키는 공정이다.

소성공정 특성상 소성로에서는 1,200 °C 이상의 고온의 온도를 올려 소성하여 하여야 하므로 이때 수소가스를 사용하게 된다. 안정적으로 수소가스를 사용하기 위한 저장, 공급 사용시설로 수소 Tube trailer(T/T) 방식을 사용한다(Figure 2참조).

2.2 수소 Tube Trailer 방식

Tube trailer는 아래 Figure 3과 같이 차량에 수소가스 저장용기를 고정하여 운송 및 저장할 수 있는 튜브(Tube) 용기를 적재한 특수차량으로 10~20개의 튜브용기를 탑재하고 있다. 각 저장용기마다 밸브가 장착되어 있으며 한쪽은 Service line이고 다른 한쪽은 Safety valve가 설치되어 과도한 압력증기나 외부 화기접촉에서도 저장용기가 폭발하지 않도록 설계(Design) 되어 있다.

이 시스템은 관리 및 유지보수가 편리하고 설치공간이 많이 필요하지 않아 수소가스를 대량으로 사용하지 않는 사업장에서 주로 많이 사용한다. 현재 국내에서 사용중인 Tube trailer의 제원을 정리하면 Table 1, 2와 같다.

일반적으로 사업장에서는 Table 3의 제원과 같이 평상시 Tube trailer의 cartridge 공급을 통한 수소를 사용하며 Back up용으로 Cylinder 용기를 별도로 보유하여



Figure 3. Tube trailer for hydrogen.

Table 1. Specification of Tube Trailer

구분	Tube			차량길이
	Volume	직경	수량	
수소	1,570 l/개	22"	10	30ft
	1,650 l/개	22"	10	30ft
	1,680 l/개	22"	10	30ft

Table 2. Details of Tube Trailer

구분		Specification	
충전압력(bar)		200	250
사용방식		Cascade 3단	
Tube Trailer	크기(m)	0.35 × 7.85	
	개수	20	
	용량(m ³)	43.6	48.6
공급형태		단순차압	

Table 3. Supply of Hydrogen Cartridge & Cylinder Back Up

구분	Hydrogen Cartridge	Hydrogen Cylinder
Quantity	20개	12개
Gas Capacity	2,520 m ³	171 m ³
M.W.P	200 kg/cm ²	-
Exhaust Line	Copper 22A	Copper 12A

유사시 Cartridge의 공급압력 저하시 차압으로 인한 Back up용 Cylinder에서의 자동공급이 가능하도록 설계 되어 있다.

Tube trailer에서 사용시설로의 공급시 이용률을 높이기 위하여 3 Bank(High, Medium, Low Bank로 지정하여 순차적으로 사용)형식의 Cascade 방식으로 공급한다. 각 Bank별로 저장용기 및 파열판, 용기밸브, 주밸브, 압력계가 설치되어 있다.

3. 이론적고찰

3.1 수소의 특성

수소gas는 공기에 비해 매우 가볍고 분자화산도가 커서 공기중에 누출되는 경우, 매우 빠르게 공기중에 희석된다. 냉동되어 액화시킨 액화수소는 끓는점이 매우 낮으므로 공기중에 누출되는 경우, 주위온도에 의해 급격히 기체상태로 되면서 공기중으로 확산한다. 또한 약 2 m³의 액화수소가 누출된 경우, 약 1분 안에 연소가능한 농도 이하로 희석되는 특성이 있다. 일반적인 수소gas의 물리적 특성은 Table 4와 같다.

3.2 수소gas의 연소특성

수소gas는 공기중에서 폭발범위가 넓고, 점화에너지가 매우 낮아 정전기 등으로도 바로 착화되며, 연소속도가 매우 높아 빠른 속도로 화염이 전파된다. 수소gas의 정전기 착화는 명확히 확인하기 어려운 사항

Table 4. Physical Particulars of Hydrogen Gas

특성	단위	수소gas
기체밀도	kg/m ³	0.084
기체비중	-	0.07
팽창률(at 250 bar)	-	1:240
끓는점	°C	-253
분자화산도	cm ² /s	0.61
발열량	kJ/g	120~142
인화점	°C	<-253
폭발범위(공기중)	vol%	4~75
점화에너지	mJ	< 0.02
연소속도	m/s	3.0

Table 5. Energy Generated by Forms of Ignition Source

점화원의 형태	발생에너지(mJ)
노출된 불꽃	10 ³
기계적인 스파크	10 ¹
비접지 도체사이의 방전	10 ¹
옷에서 일어나는 정전기	10 ⁻¹
정전기에 의한 코로나방전	10 ⁻¹ ~10 ⁻²
수소gas의 점화에너지	10 ⁻²

이며 뚜렷한 발화원을 찾기 어려운 화재, 폭발의 경우 우선 의심이 되는 착화원이다. 수소gas의 점화에너지(Ignition energy)는 Table 5에서 보듯이 일반적으로 발생하는 정전기 크기보다도 작다.

3.3 Tube trailer에서 물리적폭발 강도계산

전형적인 폭발 모델링은 상해나 피해의 영향을 평가하기 위해 사람이나 구조물에 대해 위험을 주는 폭발과압을 평가하는 것이다. Tube Trailer에서 물리적 폭발 모델링은 gas가 가득찬 용기폭발에 관계되는 에너지는 gas의 등온팽창의 가정하에 추산 할 수 있다. 체적을 가진 용기가 압력 P₁에서 대기압 P₂로 갑자기 하락하여 부피가 팽창할 경우 배출되는 폭발과압을 TNT 상당량에 해당하는 다음과 같은 식이 된다.

$$W = 4 \times 10^{-5} V \times \left(\frac{P_b}{P_0} \right) \times R \times T_0 \times \ln \left(\frac{P_b}{P_0} \right) \quad (1)$$

여기서, W: 폭발에너지(kg-TNT)

V: 압력용기내의 가스부피(m³)

P_b: 압력용기의 폭발압력(bar(abs))

- P₀: 대기압력(bar(abs))
- T₀: 표준 상태에서의 온도(273 K)
- R: 이상기체상수(1.987 kcal/kg-mole · K)

3.4 피해거리의 평가

폭발로부터 발생한 폭발과압은 순간적으로 빠른속도로 이동하여 인간에게는 고막 파손으로부터 폐출혈(Lung Haemorrhage)로 인하여 치사에 이르게 되고 건물 및 주변시설에 충격을 가할 때 붕괴 및 변형 등 심각한 손실을 가져 오기도 한다. 인간에게 치명사를 일으키는 과압의 Probit 모델은 다음과 같다.

폐출혈로 인한 사망의 경우
 $Pr = -77.1 + 6.91 \ln Ps$ (2)

고막파열의 경우
 $Pr = -15.6 + 1.93 \ln Ps$ (3)

충격으로 인한 사망의 경우
 $Pr = -46.1 + 4.82 \ln Is$ (4)

작은 파편의 비산으로 인한 부상의 경우
 $Pr = -27.1 + 4.26 \ln Is$ (5)

여기서 Ps = Peak-Pressure(N/m²)
 Is = Impulse(N · s/m²)
 Pr = 가상사고의 피해크기와 피해영향 가능성의 연관관계를 실험식으로 분석한 값

수소가스 누출로 인한 Jet Fire는 다른 화재들에서와 같이 화염에서 주변으로 방산되는 복사열에 의한 피해가 가장 크다. 따라서 복사열(Radiant heat)의 피해가 어떻게 미칠지 그 피해범위를 추정함에 있어서 우선

Table 6. The Effects of Radiation at Fire Accidents

Radiation Level (kw/m ²)	The Effects of Radiation at Fire
37.5	장치 및 설비가 손상됨
25.0	오랫동안 노출되면 최소한의 에너지에 의해 목재가 발화됨
12.5	목재 또는 플라스틱 튜브의 착화를 유도하는데 충분한 최소의 에너지
9.5	8초 후에는 심한 고통을 느끼며 20초 후에는 2도 화상을 입음
4.0	20초 내에 보호되지 않으면 통증을 느끼며 피부가 부푸러 오름
1.6	장기간 노출되면 불편함을 느낌

사람과 주변시설에 대한 복사열의 피해를 판단할 기준이 필요한데 많은 정량적 평가에 있어, 아래 Table 6와 같은 기준들을 적용한다. Table 6에 인용한 기준들은 실험을 바탕으로 하였으며, 시설기준 이행 및 공정 기초설계에 적용되는 기준이기도 하며 이 기준들에도 복사열에 노출되는 시간, 노출되는 표면의 상태 등 많은 변수를 안고 있다.

4. 사고시나리오

4.1 사고사례에 의한 시나리오 선정

시스템안전 활동중 가장 핵심적인 부분은 위험성평가(Risk assessment) 인데 이 위험성평가의 목적은 위험물질을 취급하는 제조공정 및 설비를 대상으로 화재, 폭발, 위험물 누출 등과 같은 잠재적 위험을 도출하고 잠재적 위험이 실제적 사고로 연결될 가능성과 사고 발생시에 나타날 수 있는 피해의 크기를 예측하고 평가하여 그에 따른 조치를 취하므로써 사고발생 확률과 피해의 크기를 최소화하는데 그 목적이 있다.

Tube trailer 수소저장 공급방식의 경우 수소누출의 가능성은 수소가스 용기 입출입 배관부인 Manifold, Piping system, 용기부식, 또는 외부충격 등으로 최근 대형재해(Major accidents)를 분석한 결과 누출시나리

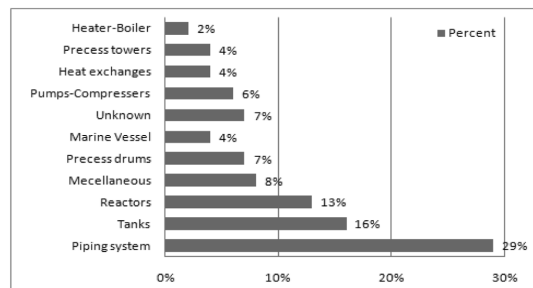


Figure 4. Causes for loss in the largest chemical accidents.

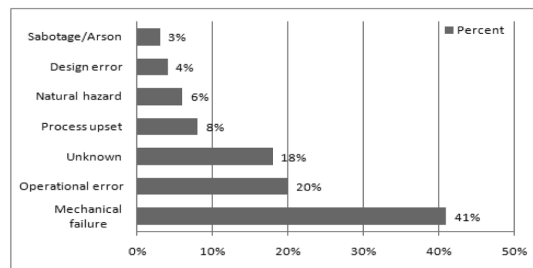


Figure 5. Hardware associated with largest losses.

Table 7. Release Case for Scenario

구분	Scenario
Scenario 1	PSV-1(20A)에서 급작스런 방출
Scenario 2	20 mm Pipe에서 배관 50 % 손상으로 인한 누출(10 mm Hole)
Scenario 3	15 mm Pipe에서 5 mm Pine Hole 발생으로 인한 누출

Table 8. Calculation Input Data

Input Data	Scen.1	Scen.2	Scen.3
Material	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Operation Pressure	200 bar	120 bar	5 bar
Operation Temperature	20 °C	20 °C	20 °C
Hole Diameter	20 mm	10 mm	5 mm

오를 선정하였다. 시나리오 선정은 Figure 4와 5에서 알 수 있듯이 발생확률이 높은 시나리오는 물리적인 결함(Mechanical failure)에 의한 배관계의 In/Out Line 부위의 누출과 Tank(Vessel)류의 부식 혹은 외부충격에 의한 누출사고라 할 수 있다.

예측하고자 하는 시나리오는 Pipe에서의 고압 수소 가스의 누출이며 이때 발생한 Jet fire로 인한 복사열(Radiation heat) 피해를 예측하는 것이다.

누출시나리오는 한국산업안전공단의 “Kosha Code P-31-2001, 사고피해 예측기법”을 참조하였고 화재의 복사열 영향예측은 상용화된 PHAST 6.5를 사용하였으며 Input data는 Table 8과 같다. 수소 저장공급 사용시설에서 수소가스가 누출되어 화재 등의 피해를 야기하는 과정으로 화재범위를 산출하였으며 사고피해결과를 예측하기 위하여 작성된 사고 시나리오는 “KOSHA Code P-14-2000, 누출원 모델링에 관한 기술지침”에 따라 적용하였다.

4.2 최악의 누출 시나리오

최악의 누출시나리오라 함은 누출화재 또는 폭발을 일으킨 지점으로부터 끝점의 거리가 가장 먼 가상사고를 말하며 누출속도는 운전압력과 누출면적 등에 영향을 받으며 누출사고의 결과 분석에 중요한 변수이다.

본 연구에서의 누출면적의 결정은 “Kosha Code P-14-2000, 누출원 모델링에 관한 기술지침”에서 제시하는 Table 9의 방법에 따라 선정하였다. 또한 누출량과 누출배관의 면적은 “Kosha Code P-37, 최악의 누출시

Table 9. Determination of Release Size in Chemical Accidents

구분	Pine Hole	Line Leak	PSV
A	10 mm	1/5 ID	Trim ID
B	5 mm	1/10 ID	1/2 Trim ID
C	1 mm	1/25 ID	-

A: 공정압력 50 barg ↑, 또는 공정온도 150 °C 이상
 B: 공정압력 또는 공정온도가 C조건을 벗어날때
 C: 공정압력, 공정온도가 ATM의 200% 범위

나리오에 기술지침”에 의거 최대 10분(600 sec)으로 고려하였다.

5. Tube Trailer 폭발피해 영향평가

고압 용기에서 분출되는 가스상태의 수소는 누출점에서 빠르게 분출되어 정전기 등의 원인으로 착화되어 Jet Fire 형태로 나타나며, 증기운을 만들지 않는다 따라서 가스상태의 수소에 대한 폭발위험성 평가에서는, VCE 가능성을 배제하였으며 Jet Fire의 경우로 한정하였다.

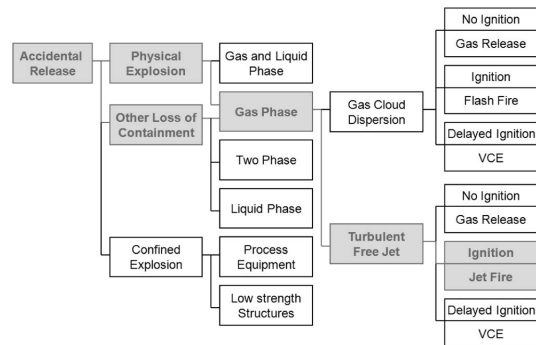
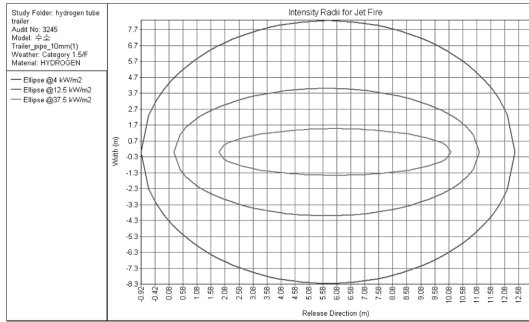


Figure 6. Study flow for accident scenario.

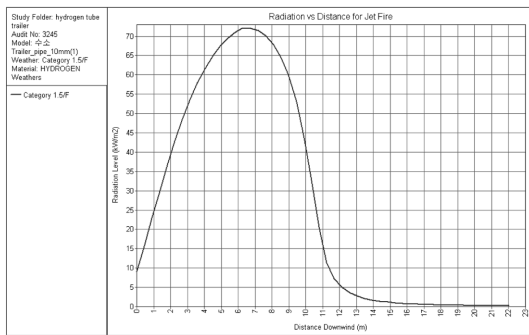
6. 피해영향평가 결과 및 고찰

Tube Trailer와 연결된 고압배관에서 분출되는 수소 가스는 공기중으로 빠르게 확산되면서 증기운을 만들지 않고 노출된 착화에너지에 의해 바로 착화하여 Jet Fire를 만든다. Figure 7은 수소가스가 20 mm Pipe에서 배관 50 % 손상으로 인한 120 Bar(10 mm Hole)에서 누출, 점화되어 Jet fire 발생시 해당 복사열이 미치는 최대방향거리를 나타내었다.

Jet fire는 수소가스가 누출된 1 m 지점의 높이에서



(a) Max. effect distance of radiation heat



(b) Max. effect distance of radiation heat

Figure 7. Intensity radiation for jet fire.

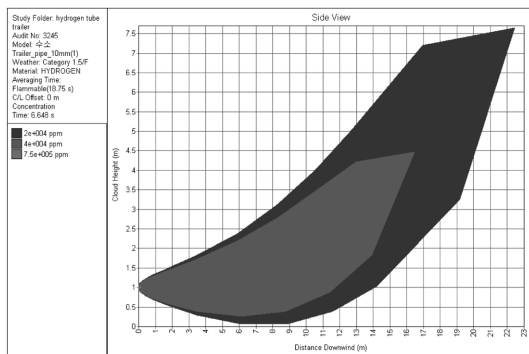


Figure 8. Concentration for flammable H₂.

발생하여 Radiation level 4 kw/m²의 경우 최대 12.45 m의 거리까지 그 영향이 미치는 것을 알 수 있다. 설비가 손상 될 수 있는 복사열량 37.5 kw/m²까지는 10.17 m이며, 2차 화재가 발생할 수 있는 복사열량 12.5 kw/m²까지는 11.17 m까지 영향을 받았다.

Jet Fire 크기는 가시적이라 가정할 때 화염높이 약 7.5 m이며 Jet Fire로 인한 복사열 피해 반경은 내화처리를 하지 않은 일반 장치에 대한 안전거리 약 10.17 m

Table 10. Safety Distance Classified by Scenarios

Scenarios (누출 추정원인)	복사열 한계(kw/m ²)		
	37.5	12.5	4
PSV-1(20A)에서 급작 스텐 방출	N/R	15.96	20.73
20 mm Pipe에서 배관 50 % 손상으로 인한 누출(10 mm Hole)	10.17	11.17	12.45
15 mm Pipe에서 5 mm Pine Hole 발생으로 인한 누출	N/R	N/R	0.75

※ 단위: m, N/R: Not Reached.

이다. 또한 보호의를 입지 않은 일반적인 사람에 대한 안전거리 약 12.45 m이다.

7. 결론 및 제언

고압배관에서 분출되는 수소가스는 공기중으로 빠르게 확산되면서 증기운을 만들지 않고 0.02 mJ 미만의 매우 작은 에너지만 존재하더라도 착화원에 의해 바로 착화하여 Jet Fire를 만든다. 수소가스 배관누출에 대한 사고피해 영향평가를 실시한 결과, 수소 Tube trailer설비에 대하여 사고시 피해를 최소화하기 위하여 아래의 방안을 제안하였다.

(1) 안전밸브(PSV-1)의 방출배관 끝단은 방출시 15.96 m 내에서는 주변가연물에 의한 화재가 발생하지 않도록 최소 15.96 m 이상의 안전거리를 확보하여야 한다. 또한 안전밸브 방출배관의 끝단은 수소가스 배출시 매우 낮은 점화에너지(0.02 mJ)로 인하여 방출시 발생되는 정전기에 의한 점화될 가능성이 크므로 배관내 발생된 정전기 확산을 위하여 배관 끝단에 정전기 확산링을 설치하여 예방하여야 한다.

(2) 20 mm 배관 손상시(10 mm Pin Hole) 11.17 m 범위내에서 복사열에 의해 2차 화재가 발생가능하므로 인접한 수소트레일러 용기표면에 복사열 완화를 위하여 2시간 이상 분무 가능한 스프링클러를 설치하여 화재로 인한 용기파손의 피해를 예방 할 수 있다.

(3) 가스누출감지기는 누출된 수소가스를 빠르게 감지할 수 있도록 설치위치를 배관연결부가 많은 밸브스테이션 상부에 최대한 근접하는 위치에 배치하고 감지부 상단에는 누출시 가스를 빠르게 포집하여 인지할 수 있도록 포집 커버를 설치한다.

(4) 전기설비는 수소가스에 적합토록 국내 KS 기준을 충족하는 방폭인증 등급에 합격한 방폭 전기설비를 사용하여야 한다.

(5) 가스저장소 등 밀폐된 장소는 내부에서 가스누

출시 정제하여 채류하지 않도록 강제 환기시설의 설치하여 비상누출시 가스를 안전하게 배출할 수 있도록 한다.

(6) 사고로 인한 피해크기 및 영향이 시간대별로 정량적 계산이 가능하므로 대피 근무자수와 비상대피장소 등에 관한 사항을 비상조치계획에 포함하고, 현장 근무자 및 인근 이해당사자에게 필요한 교육훈련 및 관련정보를 공유토록 하여야 한다.

(7) 비상조치계획 수립시 피해예측평가 결과를 면밀히 분석하여 비상대피로의 적정성 및 비상연동장치의 정상기능이 비상시에도 상시 유지할 수 있도록 반영한다.

참고문헌

1. CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition(2000).
2. CCPS, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", New York, pp.267-276(2000).
3. CCPS, "Guidelines for Vapor Cloud Dispersion Models", Second Edition(1996).
4. CCPS, "Evaluation the Characteristics of Vapor Cloud Explosions Flash Fire and BLEVES"(1994).
5. NASA, Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems(1997).
6. NFPA 52, "Compressed Natural Gas Vehicular Fuel Systems"(1998).
7. NFPA 30A, "Code for Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages"(2003).
8. NFPA 50A. Standards for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites(1999).
9. FM Global Property Loss Prevention Data sheet 7-91, Hydrogen(2000).
10. SFPE, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Second Edition.
11. Shell Hydrogen Co., Safety Considerations in Retailing Hydrogen(2002).
12. 고압가스 안전관리법에 의한 시행규칙.
13. 김종락, 김기범, "삼성전기 MLCC 소성공정 공정안전 관리보고서", 삼성전기 녹색경영그룹 공정안전(2010).
14. 이지은, "화학공장에서 에틸렌 누출에 따른 중대산업 사고 피해 예측에 관한 연구", 한양대학교 공학대학원(2010).
15. 하동명, 정기신, 이성진, 조용선, 윤명오, "가솔린탱크의 위험성평가를 위한 노말헵탄의 연소 특성치 측정 및 고찰", 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.6 (2010).
16. 하장호, 김인식, 정우영, "화재발생시 직류 플래시오버 특성에 미치는 연소화염의 영향", 한국화재소방학회 논문지, Vol.17, No.2(2003).
17. 한국산업안전보건공단, "Kosha Code D-23-2002; 수소저장설비의 안전에 관한 기술지침 등"(2004).
18. 한국산업안전보건공단, "Kosha-Code D-42-2006; 화학공장의 피해 최소화에 대한 기술지침"(2006).
19. 한국산업안전보건공단, "Kosha Code P-14-2000; 누출원 모델링에 관한 기술지침"(2004).
20. 한국산업안전보건공단, "Kosha Code P-31-2001; 사고피해 예측기법"(2004).
21. 한국산업안전보건공단, "Kosha Code P-37-2000; 최악의 누출시나리오에 기술지침"(2004).
22. 한국산업안전보건공단, "중대산업사고 사례집", pp.5-15(2010).
23. 한국산업안전보건공단, "KoshaCode D-39-2005; 벤트스택의 공정설계 지침 등"(2005).
24. 황인선, "Model Development of Risk Assessment for CNG Tube Trailers", 서울산업대학교 산업대학원(2007).