KIGAS Vol. 21, No. 3, pp 9~16, 2017
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2017.21.3.9

독성물질 저장설비의 사고시 사업장외에 미치는 영향평가

†박교식
명지대학교 화학공학과
(2016년 7월 28일 접수, 2017년 5월 26일 수정, 2017년 5월 29일 채택)

Offsite Risk Assessment on Toxic Release

†**Kyoshik Park**
**Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin, 449,728, Korea*
(Received July 28, 2016; Revised May 26, 2017; Accepted May 29, 2017)

요 약

위험물을 취급하는 사업장에서 인근에 미치는 영향을 평가할 때 독성물질의 누출은 가장 관심있는 분야중의 하나이다. 대표적인 시설로서 염산 생산시설을 선정하여 공정정보로부터 사고 시나리오를 선정하고 독성물질 누출시 사업장외로 영향을 미치는 사고 시나리오를 선정하여 환경부의 지침에 따라서 평가하였다. ALOHA를 활용하여서 최악의 사고 시나리오를 비롯한 사고 시나리오를 평가하였으며 이들의 사고시 피해완화대책도 살펴보았다. 평가결과 염산생산시설은 현재의 안전조치가 충분하여서 추가의 개선대책이 필요하지 않은 것으로 판명되었다.

Abstract - Toxic release is one of the most interested area in evaluating consequence to the vicinity of industry facilities handling hazardous materials. Chloric acid production facility is selected and toxic release is evaluated to assess the risk impacted to its off-site. Accident scenarios were listed using process safety information. The scenarios having effect to the off-site were selected and assessed further according to guideline provided by Korea government. Worst case and alternative scenarios including other interested scenarios were evaluated using ALOHA. Each evaluated scenario was assessed further considering countermeasures. The results showed that the facility handling chloric acid is safe enough and needed no further protections at the moment.

Key words : toxic release, chlorine, off-site risk, scenario, protection

I. 서 론

우리나라의 석유화학 산업은 2012년 현재 에틸렌 생산량 기준 세계 5위에 이르는 등 세계적인 화학 대국으로 성장하였다. 그러나 21세기 들어 화학산업은 다양한 형태의 고부가 가치 신물질 및 신제품 생산을 위한 화학 산업의 범위 확대로 말미암아 기존의 에너지·화학 산업에서 경험하지 못한 고압, 고온 등 가혹한 조건의 생산 방식과 잠재적으로 유독한 유해물질 사용의 선택이 불가피해 지고 있다. 특히, 2012년 9월 27일 구미 불화수소 누출사고 등 최근 빈번히 발생하고 있는 사고를 통해 화학물질 사고로 인한 피해는 사업장 내부에만 국한되는 것이 아니라 사업장 외부까지 확대되어 엄청난 환경재난을 가져올 수 있음을 경험하였으며 화학물질 관리 및 화학사고 대응에 대한 한계점이 노출되고 국민들의 불안감이 가중되고 있다[1]. 또한 화학물질은 제조·사용·폐기 등 전 과정에서 다양한 경로를 통하여 인체와 환경에 치명적 재난을 가져올 잠재력을 가지고 있으므로 사업장 내부뿐만 아니라 Off-site의 영향까지 사전 예측하여 관리하는 종합적인 화학사고 예방 제도의 도입과 관련 연구 필요성이 제기되었다. 즉 기존의 방어적, 단면적, 정성

†Corresponding author:hwayi21@empal.com
Copyright ⓒ 2017 by The Korean Institute of Gas

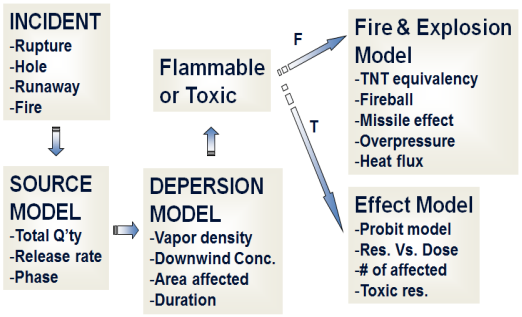

Fig. 1. Incident chronicle of hazardous material release.

적인 화학사고 대응 방식에서 포괄적, 적극적, 생산적, 정량적이며, 사전예방, 대응 및 사후처리 전 과정 중심, 설비 및 인적 시스템 중심으로의 방식으로 확대가 필요하다[2, 3].

위험물질을 다루는 시설에서 사고까지 이르는 과정을 Fig. 1에 나타내었다[4]. 화학물질관리법에서는 독성과 가연성 혹은 반응성을 지닌 물질을 주로 취급하며 본 연구에서 독성물질인 염소를 취급하는 사업장을 대상으로 장외영향평가를 실시하였다.

Ⅱ. 공정 개요

염산제조공정(Chloric acid, CA) 공정은 다음과 같은 공정으로 구성되고 이를 간략화하여 연계도를 나타내면 Fig. 2.와 같다[2].

(1) Brine 공정 : 염수 정제 공정
- 1차 Brine 공정에서는 염수 제조에 사용되는 소금에 포함된 불순물을 1차로 제거하는 공정 진행.(고농도 염수에 $NaCO_3$, Na_2CO_3, 응집제, 염산 등을 투입하여 불순물 제거 후 무연탄, 모래, 자갈로 이루어진 여과기 통과)
- 2차 Brine 공정은 1차로 정제된 염수를 이온교환수지탑을 이용하여 다시 한 번 정제하는 과정

(2) Electrolysis 공정 : 염수 전기분해 공정
- 전해조에서 정제된 염수를 전기분해 시키는 공정. 전해조 양극에서는 염소, BRD (Brine Depleted) 배출, 음극에서는 약 33% 수산화나트륨과 수소 생성

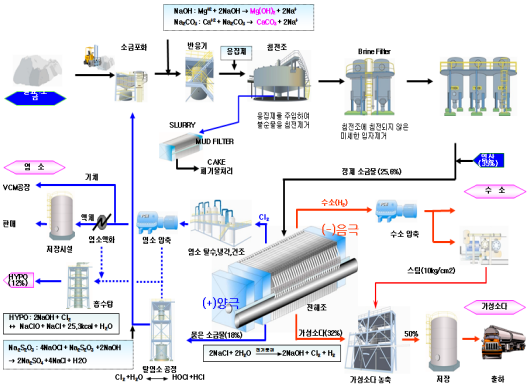

Fig. 2. Typical process of chloric acid production.

(3) NaOH Evaporation : 수산화나트륨 농축공정
- 이온교환막 전해조에서 생산되는 33% 가성소다 용액을 농축하는 공정으로 하강 필름타입(Falling file type)의 삼중효용 증발관으로 구성
- 증발의 효율을 증가시키기 위해 3개의 증발관을 연결시켜 일정량의 증기(열원, 10kg/cm^2G)로 3회 증발을 일으키는 형태
- 증발관은 진공상태로 유지, 압력을 낮춰 비점이 낮아지는 원리 이용

(4) Cl_2 C.D.C & Liquefaction 공정 : 염소 수분 제거 & 액화 공정
- Wet Cl_2는 부식성이 매우 강하므로 C.S. 용기로 염소를 취급하기 위해서는 염소 중 수분을 제거해야 함. 부피를 최소화시켜 운송, 보관을 용이하게 할 수 있도록 Cl_2 가스 액화시키는 공정
- 압력을 높여 수분을 응축한 뒤, 온도를 낮추어 수분을 응결시켜 제거. 또한, 황산을 이용한 탈수반응으로 수분을 흡수
- Cl_2 가스는 프레온과 열교환하여 액화가 이루어지며 액체 염소 저장탱크에 저장. 액체염소는 4기의 출하장을 통해 T/L 출하

(5) HYPO 공정 : 폐가스 처리, HYPO 생산 공정
- Normal 운전으로 발생하는 폐가스, 공정 이상으로 발생하는 염소 가스를 처리하기 위해 설치
- 수산화나트륨과 염소가스를 반응시켜 HYPO 생산. 생산요청이 들어올 때마다 수산화나트륨 생산공정 중 염소 밸브를 열어 HYPO 생산

1. 운전조건 및 비상 운전정지 조건

정상 운전조건은 Table 1에 정리되어 있듯이 Dry 염소의 경우 155℃이하에서 운전하게 되어있으며 이를 초과하는 값을 경계값으로 본다. Wet 염소의 경우 130℃이하에서 운전하게 되어있으며 이를 초과하는 값을 경계값으로 본다. 압력의 경우 계기 조절용 공기압은 약 5기압이하에서 운전하며 이를 초과하는 경우를 경계값으로 한다. 염소의 압력은 수두로 70~200 mmH_20 의 범위내에서 운전하게 하며 이를 벗어나면 경계값이 된다. 비상운전조건은 각각 . 비상가동중단 조건은 Table 2.와 같이 전기의 경우 주전원이나 Rectiformer 의 이상이 생긴 경우, 압력의 경우 계기조절용 공기압이 5기압 이하인 경우, 혹은 압축기의 건조 염소에 트립이 발생한 경우이다. 압력이나 압축기의 이상이 발생한 경우에는 각각 보조 기기나 연동제어장치 등으로 이를 보완한다.

2. 주변지역 입지정보

사업장 주변 입지현황과 보호대상 목록 및 명세는 Table 3과 Table 4.와 같다. 총 인구수는 10만명 단위이며 총 가구수 역시 10만 단위이다. 사업체에는 만명 단위의 인구가 상주하며 농작지로는 논과 밭에서 벼, 토마토, 고추 등을 주로 재배하고 있고 상수원과 취수원은 해당이 없는 것으로 조사되었다. 보호시설은 경로회관 등 노유자시설 외 다수가 있으며 Table 4에 정리되어 있다.

Table 2. Emergency shutdown conditions

Div.	ESD conditions	Interlock
Electri-city	Main power and rectiformer trip	
Press -ure	Instrument air pressure < 5.0kg/㎠	Back-up air comp activation
Comp -ressor	Dry Cl_2 comp (C-502) trip	Plant shutdown action (DCS interlock)

Table 3. Sitings around hazardous facility

Facility	Details
Population	000,000 [as of 2012]
Resident	000,000 [as of 2012]
Industry	00,000 [as of 2012]
Agriculture	Rice field : 7,283,201 ha Tomato : 32,066 ha Chilly : 5,785 ha
Running water	N.A.

Table 1. Normal operation conditions

Process	Temperature		Pressure		Level		Others	
	Normal	Boundary	Normal	Boundary	Normal	Bounda-ry	Normal	Bounda-ry
Cell volt high trip							< 14V	> 14V
Instrument air pressure			I. air pres. > 5.0kg/㎠	I. air pres.< 5.0kg/㎠				
Cl_2 Header pressure			Cl_2 pres. -70～200 mmH_2O	Cl_2 pres. < 70mmH_2O, > 200mmH_2O				
Dry Cl_2 Comp	Dis' temp. < 155℃	Dis' temp. > 155℃						
Wet Cl_2 Comp	Dis' temp. < 130℃	Dis' temp. > 130℃						

Table 4. List of protection facilities

Facility	Protection type	Distance to hazard(m)	Facility	Protection	Distance to hazard(m)
Service area	Service	1,000	Hospital	Medical	5,600
Senior center	Vulnerability	1,000	Station	Transport	5,800
Silver center	Vulnerability	1,100	Port	Transport	6,300
Station	Transport	1,100	Stadium	Stadium	6,800
Middle school	Institute	1,500	Broadcasting	Media	7,200
Elementary school	Institute	2,100	Stadium	Stadium	7,400
Station	Transport	3,500	University	Institute	7,700
Hospital	Medical	4,100	river mouth	Ecosystem	8,900
City hall	Commercial	4,800			

Ⅲ. 공정 위험성 분석

1. 위험요인 및 대상설비 선정

해당공정의 위험성을 정리하면 다음과 같으며 이를 Table 5.에 정리하였다.

- 전해조에서 전기분해시 발생된 수소가스의 폭발
- 수소가스 분리기 주위의 플랜지 부위에서 누출로 인한 수소가스의 폭발
- 액화염소가스 저장탱크에 고압으로 저장된 액화염소가스의 외부 누출
- 액화염소가스를 탱크로리로 출하 시 작업자 실수에 의한 외부누출

2. 사고시나리오 선정

대상 설비에서 발생할 수 있는 사고가 근로자, 인근주민 및 환경 등에 미치는 영향을 평가하여 피해범위를 산정하기 위하여 사고시나리오를 선정하였으며 그 결과를 Table 6에 정리하였다. 최악의 사고 시나리오란 유해화학물질이 최대로 저장된 단일 저장용기 또는 배관 등에서 화재·폭발 및 유출·누출되어 사람 및 환경에 미치는 영향범위가 최대인 경우의 사고시나리오를 말한다. 평가조건은 끝점(Endpoint)은 독성물질농도 ERPG-2, 복사열 5 kW/m^2 (40초), 혹은 폭발과압 1 psi이며 기상정보는 풍속 1.5 m/s, 대기안정도 F(매우 안정), 대기온도 25 ℃, 대기습도 50 %일 경우이다[5]. 또한 누출조건은 용기 또는 배관의 최대량이 10분 동안 누출되며 단일 용기 또는 배관내에서 보유하고 있는 최대량이 누출된다고 보며 이 때 수동적 완화시스템에 의한 감소량 고려한다. 누출물질의 온도는 해당설비의 운전온도로, 누출지점은 지표면 누출로, 지표면 상태는 도시지형으로 본다. 본 연구에서 최악의 누출시나리오는 액화염소가스 저장탱크에 Hole이 발생하여 독성물질인 액화염소가 10분 동안 누출되어 확산된 것이며 ERPG - 2 도달거리는 10,000 m 이상이나 이는 저장량 전부가 누출된다고 가정하는 것으로서 엔지니어링적인 관점에서 보면 타당성을 입증하기 어려운 점이 있다.

대안의 사고 시나리오란 최악의 사고시나리오보다 현실적으로 발생가능성이 높고 사람이나 환경에 미치는 영향이 사업장 밖까지 미치는 경우의 사고시나리오 중에서 영향범위가 최대인 경우의 시나리오를 말한다. 끝점(Endpoint) 조건은 최악의 시나리오와 같으며 기상정보는 해당지역의 연평균 기상조건을 사용하였다. 누출시간은 현실적으로 발생가능성이 있는 누출시간 적용하고 누출량은 수동적/능동적 완화시스템에 의한 감소량 고려하였으며 누출물질의 온도는 해당설비의 운전온도를, 누출지점은 해당 시나리오의 누출면 높이를 적용하고 지표면 상태는 도시지형을 적용하였다. 기상조건은 풍속 : 2.1 m/s(울산지역 평균), 대기안정도 : C(약간 불안), 온도 : 14.8 ℃(울산지역 평균), 습도 : 60 %(울산지역 평균)를 적용하였다. 이 경우 대안의 누출시나리오는 액화염소가스 저장탱크에 Hole이 발생하여 독성물질인 액화염소가 3분 동안 누출되어 확산되는 시나리오이며 ERPG - 2 도달거리는 10,000 m

Table 5. Process hazards of chloric acid handling facility

Hazard	Device	Chemical	Capacity (ton)	Operation condition		Remarks
				Temperature (℃)	Pressure (kg_f/cm^2)	
Max. storage	V-602 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	182	-5	5.8	
High temp./pres.	D-801 separator	Hydrogen gas	$24m^3$	40	0.4	
Toxicity	V-602 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	182	-5	5.8	
Maintenance	WB-601 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	25	-5	5.8	
Light Component	EL-301 electrolyte	Hydrogen gas	$25m^3$	90	0.69	

Table 6. Consequence analysis for each scenario

Scenario	Temp (℃)	Pres. (atm)	Chemical	Phase	Leak phase	Leak diameter D (m)	Leak height (m)	Distance (m)	Remarks
1. Storage tank top piping - toxic	-5	5.8	Liq.chlori-ne gas	Liq.	Gas	0.0508 (2 in)	3.2	4500	Interest scenario
2. Storage tank - toxic	-5	5.8	Liq.chlori-ne gas	Liq.	Gas aerosol	-	0	10000 >	Worst scenario
3. Separator top piping- VCE	40	2 ($0.4kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	0.1590 (6.26 in)	-	320	Interest scenario
4. Separator top piping - Jet fire	40	2 ($0.4kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	0.1590 (6.26 in)	-	15	
5. Tanklorry connection - toxic	**-5**	**5.8**	**Liq.chlori-ne gas**	**Liq.**	**Gas**	**0.038 (1.5 in)**	**2**	**4200**	**Interest scenario**
6. Tanklorry - toxic	-5	5.8	Liq.chlori-ne gas	Liq.	Gas aerosol	-	0	10000 >	Alternative scenario
7. Electrolyte top piping - VCE	90	2 ($0.69kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	0.0681 (2.68 in)	-	80	
8. Electrolyte top piping - Jet fire	90	2 ($0.69kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	0.0681 (2.68 in)	-	10 <	
9. Electrolyte - VCE	90	2 ($0.69kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	-	-	23	
10. Electrolyte - Jet fire	90	2 ($0.69kg_f/cm^2$)	Hydrogen gas	Gas	Gas	0.0681 (2.68 in)	-	10 <	

이상이나 이 역시 저장량 전부가 누출된다고 가정하는 것으로서 엔지니어링적인 관점에서 보면 타당성을 입증하기 어려운 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 보다 현실성이 높은 5번 시나리오 즉 액화염소가스 탱크로리 인입라인 연결구에서의 누출을 가정하여 예를 들어 설명하고자 한다. ALOHA를 이용하여 계산한 사례를 Fig 3.에 나타내었다. 이는 미국에서 20여 년 전에 적용하던 영향범위 사정 프로그램으로서 좀 더 정밀한 범위 산정을 위해서는 최근들어 개발된 PHAST나 정부의 KORAR 프로그램을 활용하여 결과의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 추론된다.

Ⅳ. 안전성 확보 방안

위험도는 아래 산정식에 따라 계산하였다.

(1) 위험도 = 영향범위 내 주민수 × 사고 발생 빈도
(주요기기 고장빈도×안전성향상도)

1) 영향범위 내 주민수 : 영향거리(반경)를 기준으로 하여 누출원 중심으로 원을 그려서 원내의 주민 수를 산정, 여기에서는 원의 면적과 지역평균 인구밀도의 곱으로 계산
2) 대상 시나리오를 발생시킬 수 있는 각 개시사건의 빈도와 해당 건수를 곱하여 계산
3) 안전성 향상도는 수동적/능동적 완화장치(안전장치)의 설치/작동으로 인한 위험도를 감쇄를 의미하며, 완화장치가 독립적으로 복수인 경우에는 각각의 안전성 향상도를 곱하여 계산

(2) 위험도에 미치는 영향
○ 영향범위 내 주민 수 : 19,871명
○ 완화장치에 의한 위험도 감소 : 1.3×10^{-6}
○ 따라서 사고시나리오 2에 대한 위험도는
19,871명$\times1.3\times10^{-6}=2.58\times10^{-2}$

사고시나리오별 위험도 분석 결과는 Table 7.과 같다. 본 연구에서는 화학사고 발생 시 영향범위 및 사고 발생빈도를 줄이기 위하여 주요 위험설비에 대하여 사고가 발생할 수 있는 원인과 현재의 안전조치의 한계점을 분석하고 개선 권고사항을 도출하기 위한 위험성 검토를 실시하였다. 즉 사고시나리오5는 탱크로리 연결구에서 염소가 누출되어서 독성물질이 인근 사업장의 근로자는 물론 거주지역까지 피해를 미치는 경우이다. 이 때 분석조건인 운전 온도(℃), 운전압력(atm), 취급물질, 물질성상, 누출물질 성상, 누출공 지름 D(m), 누출공 높이(m) 및 영향범위(m)는 Table 6에 기술되어 있으며 영향범위는 지름 4200m인 것으로 계산되었다. 이 범위내의 주민수는 19,871명이며 Table 7을 이용하여 완화장치를 적용하여 완화장치에 의한 위험도 감소효과는 1.3×10^{-6} 이 된다. 즉 이 시나리오와 관련하여 완화장치역할을 하며 각각이 고장을 일으켰을 때 제 역할을 못하여 사고로 이어진다고 볼 수 있다. 이들은 Pressure vessel failure, Piping rupture/100m, Gasket/packing blowout, Third-party intervention (external impact by back-hoe, vehicle, etc) 및 BPCS instrument loop failure 등이다.

연구대상시설은 설치되어 있는 설비가 제 기능을 유지할 수 있도록 안전하게 관리함으로써 위험도를 낮출 수 있는 방안으로 설비·장치의 유지보수 계획, 자체점검계획, 기타 안전성 확보방안 등을 Table 8과 같이 제시하며 각각의 위험도 감쇄율은 1/10정도인 것으로 알려져 있다[2].

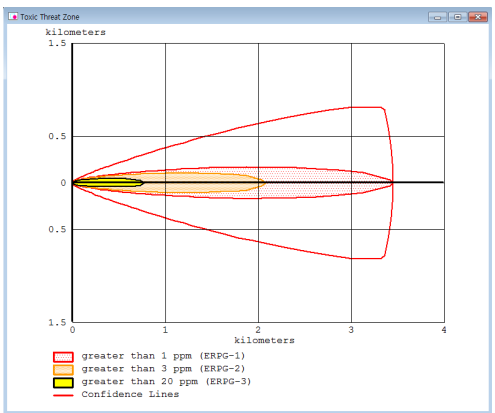

Fig. 3. Sample of calculation using ALOHA

Table 7. Summary of risk evaluation for the worst case scenario

	Initiating event	Frequency	Number	Passive protection			Active protection				Sum
1	Pressure Vessel Failure	1×10^{-6}	1	1×10^{-2}	-	-	1×10^{-1}	-	-	-	5×10^{-9}
2	Piping Rupture/100m	1×10^{-5}	5	1×10^{-2}	1×10^{-2}	-	1×10^{-1}	-	-	-	5×10^{-10}
3	Piping leak/100m	1×10^{-3}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Atmosphere Tank Failure	1×10^{-3}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Gasket/Packing Blowout	1×10^{-2}	2	1×10^{-2}	1×10^{-2}	-	1×10^{-1}	-	-	-	2×10^{-7}
6	Turbine/Diesel Engine overspeed with casing breach	1×10^{-4}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Third-party intervention(external impact by Back-hoe, vehicle, etc)	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}	1×10^{-2}	-	1×10^{-1}	-	-	-	1×10^{-7}
8	Lightning strike	1×10^{-3}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Safety valve open (Failure)	1×10^{-2}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Cooling Water failure	1×10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Pump Seal Failure	1×10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Unloading/ Loading Hose Failure	1×10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	BPCS Instrument Loop Failure	1×10^{-1}	1	1×10^{-2}	1×10^{-2}	-	1×10^{-1}	-	-	-	1×10^{-6}
14	Regulator 등 Failure	1×10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Small scale external fire	1×10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Large scale external fire	1×10^{-2}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Risk considering protections		Σ [(Freq. × No.) × (Passive protection) × (Active protection)]									1.3×10^{-6}

Table 8. Protections by maintenance

Div.	Details	Protection
M-1	Plans on self maintenance	1×10^{-1}
M-2	Plans on self test	1×10^{-1}
M-3	Other plans to obtain safety	1×10^{-1}

Table 9. Risk of interest scenario according to the protections applied

Scenario	Device	Chemical	Risk without protections	Risk with protections	Risk with maintenances
Alternative scenario	V-602 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	1.08×10^{-2}	1.08×10^{-5}	1.08×10^{-8}
Accident scenario 1	D-801 separator	Hydrogen gas	5.40×10^{-1}	5.40×10^{-4}	5.40×10^{-7}
Accident scenario 2	V-602 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	2.58×10^{-2}	2.58×10^{-5}	2.58×10^{-8}
Accident scenario 3	WB-601 liquefied chlorine gas storage tank	Liquefied chlorine gas	4.77×10^{-2}	4.77×10^{-5}	4.77×10^{-8}

V. 결 론

염소저장시설 의 공정안전자료를 활용하여 발생할 수 있는 사고에 대하여 분석하고 이 중 사업장 밖으로 영향을 미치는 사고에 대하여 정밀 분석하였다. 특히 저장탱크에서 발생하는 사고는 염소의 막대한 저장량으로 인하여 외부에 미치는 영향이 매우 컸으며 탱크로리의 이충전작업 역시 누출에 의한 확산 위험이 매우 컸다. 이 밖에도 분리탑 상부의 가연성기체 누출·점화에 의한 증기운폭발이 사업장외부로 영향을 미치는 사고 시나리오로 계산되었다.

Table 9에 사고 시나리오와 해당 설비 및 해당 물질에 따른 사고의 위험도를 정리하였다. 방호조치를 고려하지 않으면 위험도가 10^{-1} ~ 10^{-2} 정도로 각각 매우 크나 현재의 설비적인 안전조치를 고려하면 10^{-4} ~ 10^{-5} 정도로 낮아진다. 이에 더하여서 유지보수 등관리적인 안전대책을 충실하게 수행하고 있으므로 이를 고려할 경우 위험도는 다시 10^{-7} ~ 10^{-8} 정도로 매우 낮아진다. 즉 현재 가동중인 울산의 염소생산시설은 설비의 각종 방호조치 및 유지보수활동의 성실한 수행 등을 고려할 때 매우 안전한 시설이라고 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 환경부의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

[1] Park, K. S., et al., “A Study on Consequence Analysis of Hydrofluoric Acid Release Accident in Gumi Industrial Area”, Korean Journal of Hazardous Materials, **1**(1), 12-18, (2013)

[2] Korea Ministry of Environment, Development of implementation measures on off-site consequence assessment, Government Report, 11-1480000-001311-01 (2014).

[3] Korea Ministry of Environment, Development of implementation measures of Korean risk management plan, Government Report, 11-1480802- 000007-01 (2014).

[4] Dong Hoon Lee et al,, “Offsite Risk Assessment on Flammable Hazard Site”, Korean Journal of Hazardous Materials, **3**(1), 51~58, (2015).

[5] OECD Guideline to Prevent, Prepare, and Respond Chemical Accident, Reg. 11-1480083-000199-01, National Institute of Environment Research.