



프로필렌 회수공정에서 화재 및 폭발 사고의 피해영향 해석

한성환 · 이현창* · 박교식 · †김태옥

명지대학교 화학공학과, *DNV 코리아

(2014년 1월 19일 접수, 2014년 2월 24일 수정, 2014년 2월 24일 채택)

Consequence Analysis for Fire and Explosion Accidents in Propylene Recovery Process

Seong-Hwan Han · Hern-Chang Lee* · Kyoshik Park · †Tae-Ok Kim

Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

*Det Norske Veritas Korea

(Received January 19, 2014; Revised February 24, 2014; Accepted February 24, 2014)

요약

본 연구에서는 석유화학공정에서 잠재위험요소를 확인하고, 사고 결과분석을 통해 안전대책 수립 등의 위험 관리 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 프로필렌 회수공정(PRP)에서 현실적인 상황을 고려한 누출 시나리오를 선정하고, PHAST RISK(ver. 6.7) 프로그램을 사용하여 화재 및 폭발 사고의 피해범위를 산출하고, 피해영향을 해석하였다. 그 결과, 6개의 PRP 공정지역 중에서 디프로파나이저 지역, 디에타나이저 지역 및 히트펌프 지역에서는 화재 및 폭발 사고의 피해범위가 매우 크게 나타났다. 따라서 제트화재가 발생하는 공정지역에서는 200m의 반경 내에서 사람이 상주할 수 있는 건물을 설치하지 않는 것이 바람직하고, 재고량과 압력이 큰 공정지역에서는 사고위험을 사전에 예방해야 하고, 사고 발생 시에는 신속한 대처방안 수립이 요구되었다.

Abstract - This study aims to suggest risk management plan including safety measures through hazard identification followed by consequence analysis in petrochemical plants. Consequence analysis was performed through practical release scenario by using PHAST RISK(ver. 6.7) software in the propylene recovery process(PRP). As results, consequences by fire or explosion accidents in the depropanizer zone, deethanizer zone and heat pump zone were relatively larger than other else zones among six process zones in the PRP. In the case of jet fire, it is recommendable not to install residence building within 200 m of the process zone. Additionally, process zones having large inventory or high pressure must be prevented from accidents and required to establish quick response against accidents.

Key words : consequence analysis, fire, explosion, propylene recovery process, PHAST RISK

1. 서론

에너지 산업의 급속한 발전에 따라 석유화학공장은 시설이 복잡하고, 다양화되고 있으며, 특히 다양한 종류의 유해물질을 대량으로 취급하고 있다. 또한

석유화학공장은 고도의 기술집약인 장치산업이지만 장치의 노후화 등으로 인해 전 세계적으로 예고 없이 사고가 발생되어 많은 피해를 일으키고 있다. 특히, 인화성 물질이나 독성물질과 같은 화학물질에 의한 누출사고나 폭발 및 화재 사고는 다른 산업사고와는 다르게 사업장의 근로자는 물론 인근지역 주민과 환경 및 생태계에 이르기까지 심각한 피해를 줄 수 있는 복합적인 성격을 가지고 있다[1].

†Corresponding author:kimto@mju.ac.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

따라서 석유화학공장에서 화재 및 폭발 사고 등의 중대산업사고를 예방하여 안전을 유지하기 위해서는 사고가 발생하기 전에 위험인자를 확인하여 이를 제거하거나 완화함으로써 사고의 위험을 줄이는 것이 무엇보다 중요하다.

최근 들어 국내의 화학공장에서도 위험성 평가에 대한 관심이 부각되고 있으나, 정확한 이해가 부족하여 효과적인 안전관리를 하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 사고 결과분석(consequence analysis)이나 안전 건전성 수준(safety integrity level, SIL) 등의 기술을 이용하여 단위공정 중에서 위험도가 높은 구간에 대하여 공정의 안전성 향상을 위한 개선사항을 제시하거나, 안전관리 대책을 강구할 필요가 있다.

본 연구에서는 대표적인 석유화학공정 중의 하나인 프로필렌 회수공정(propylene recovery process, PRP)을 대상공정으로 선정하여 화재 및 폭발 사고의 피해영향을 해석하였다.

대상공정은 사고에 의한 영향이 다른 공정에 비해 크지만 지금까지 공정 전체에 대한 위험을 분석한 연구결과는 보고된 바 없기 때문에 사고 결과분석을 통해 최악의 누출 시나리오에 대한 안전대책을 수립하는데 도움을 주고자 하였다.

II. 이론적 배경

화재 및 폭발 사고의 피해범위를 산출하기 위해서는 공정흐름도(process flow diagram)와 공정배관계장도(piping and instrument diagram, P&ID)를 사용하여 구간 정의, 누출공 크기 결정 등과 같은 누출 시나리오를 설정하고, 누출유형에 따른 누출원 모델(release source model)에 의해 누출속도를 산출한다. 그리고 대기 확산의 여부에 따라 영향모델(effect model)에 의해 사고의 피해범위와 사고영향을 해석한다[2,3].

2.1. 구간 정의

공정설비의 누출빈도와 사고 피해크기를 예측하기 위해 기본적인 적용단위의 개념으로 사용되는 구간(node)은 공정에서 누출이 발생 시 차단(isolation)을 형성할 수 있는 공간으로 정의한다.

또한 유체의 흐름이 없을 경우에는 설비와 설비 사이를 다른 구간으로 구분할 수 있고, 유체 상태, 누출조건, 누출위치 등도 구간을 정의할 때 동시에 고려되어야 한다.

2.2. 누출공 크기

공정설비의 고장사례는 대표적으로 누출공(relea-

se hole)의 크기를 소(small), 중(medium), 대(large) 그리고 파열(rupture)의 4가지 유형으로 구분하여 사용하고, 최악의 누출 시나리오에서는 배관이 파열하는 것으로 간주한다[4,5].

2.3. 누출유형

화학공장에서 화재 및 폭발 사고는 주로 가연성 물질의 누출에 의해 발생하며, 누출물질들은 탱크나 배관의 구멍이나 갈라진 틈 또는 펌프나 밸브, 플랜지의 새는 구멍 등의 다양한 경로를 통해 누출된다. 누출은 일반적으로 누출되는 물질의 상에 따라 액체 누출, 증기 누출, 2상(증기-액체) 누출로 구분한다. 또한 누출량은 한정된 시간동안에 누출되는 순간누출(instantaneous release)과 연속적으로 누출되는 연속누출(continuous release)로 구분하여 산출한다[2].

2.4. 대기 확산

누출물질이 가스 상태로 대기 중에 노출되면 사고 지점에서부터 공장이나 인근지역으로 확산된다. 특히, 대기 중에 확산된 누출물질은 공기와 급격히 혼합되어 누출지점에서 멀리 떨어질수록 농도는 낮아지게 된다.

이때, 누출물질의 대기 확산에 미치는 매개변수는 바람속도, 대기안정도(atmospheric stability), 대기조건, 누출지점의 높이 등이 있으며[6,7], 이들 매개변수 중에서 가장 영향이 큰 것은 바람속도와 대기안정도이다[2,3,8].

2.5. 사고 형태 및 영향

사고 피해크기는 누출공 크기와 운전조건인 온도 및 압력에 크게 영향을 받는 누출속도와 누출시간 및 누출량에 크게 영향을 받으며, 인화성 물질이 누출 후 집화원이 작용할 경우에는 화재 또는 폭발의 유형으로 사고결과를 초래하게 된다. 특히, 인화성 유체의 초기 집화는 액면화재(pool fire) 또는 제트화재(jet fire)로 나타나고, 초기 집화가 되지 않을 경우에는 액체풀(liquid pool) 또는 인화성 증기운(flammable cloud)을 형성한 후 증발 또는 분산되어 화재는 플래쉬화재(flash fire) 또는 화구(fireball) 형태로 나타나고, 폭발은 비등액체 팽창증기 폭발(BLEVE) 또는 증기운 폭발(vapor cloud explosion, VCE) 형태로 나타난다. 이때, 집화확률과 폭발확률은 Table 1 및 Table 2와 같이 누출속도에 주로 영향을 받는다[3,5,9].

따라서 사고형태에 따라 화재사고는 복사열의 영향을 평가를 하고, 폭발의 경우에는 과압(overpressure)에 의한 영향을 평가한다[2,3,9].

Table 1. Ignition probabilities for release type and release rate[3]

Release rate	Ignition probability	
	Gas	Liquid
Minor (< 1 kg/s)	0.01	0.01
Major (1 ~ 50 kg/s)	0.07	0.03
Massive (> 50 kg/s)	0.3	0.08

Table 2. Explosion probabilities for release rate[3]

Release rate	Explosion probability
Minor (< 1 kg/s)	0.08
Major (1 ~ 50 kg/s)	0.23
Massive (> 50 kg/s)	0.60

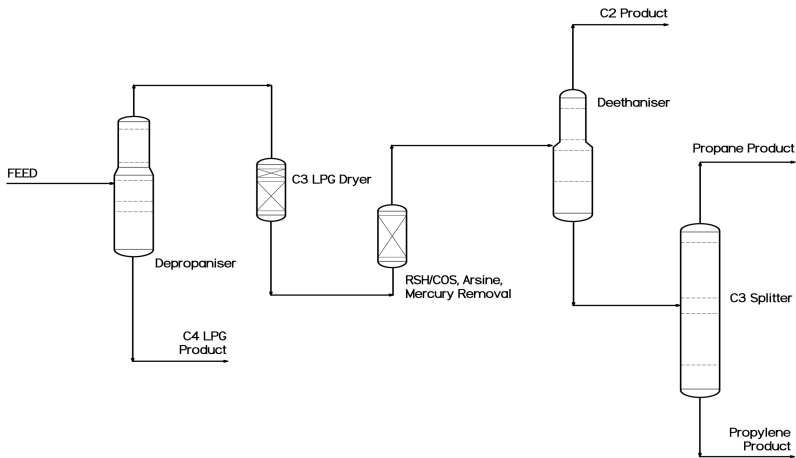


Fig. 1. Process flow diagram of typical propylene recovery process.

III. 대상공정에서 화재 및 폭발 사고의 피해범위 산출

3.1. 대상공정

대상공정인 프로필렌 회수공정(PRP)은 Fig. 1의 흐름도와 같이 혼합된 C3+(mixed C3)로부터 프로필렌(propylene)과 프로판(propane)으로 분리한 후 프로필렌 중에 포함되어 있는 여러 가지 불순물들을 제거하여 고순도의 고분자급 프로필렌(polymer grade propylene)을 생산하는 공정이다.

원료로 공급되는 성분(FEED)은 USGP(unsatura-

ted gas plant)에서 나오는 C3/C4 LPG와 ERU(ethylene recovery unit)의 디에타나이저(deethaniser) 하단에서 나오는 에틸렌을 포함하는 C2, C3 및 C4 성분을 포함하고 있다. 이들 물질들이 혼합되어 PRP의 디프로파나이저(depropaniser)로 공급된다. 그리고 디프로파나이저의 하부에서는 C4 LPG가 생성물로 회수되고, 상부에서 나오는 물질은 C3 LPG의 성분을 다량으로 함유하고 있다. C3 LPG는 건조기(dryer)에서 수분이 제거되고, 제거탑(removal bed)에서는 오염물질(RSH/COS, arsine and mercury)을 제거하여 디에타나이저로 이송한다. 이때, 디에타나이저에서는 상부로 C2+ 성분을 제품으로 회수하고, 하부에

서 나오는 C3+는 프로필렌 스플리터(propylene splitter)로 보내어 프로필렌과 프로판을 생산한다.

이와 같이 전형적인 프로필렌 회수공정은 디프로파나이저, 건조 및 오염제거탑, 디에타나이저, C3 스플리터, 히트펌프 및 건조재생유닛(dryer regeneration unit)의 6개 주요 공정지역(process zone)으로 이루어졌다.

3.2. 공정유체 특성

PRP의 대표적인 물질인 프로필렌은 에틸렌과 함께 가장 중요한 석유화학 기초유분 중의 하나인 에틸렌계 탄화수소의 일종으로, 상온에서 약한 자극적인 냄새가 나는 무색 기체이고, 이중결합을 한 개 가지며, 탄화수소의 알켄 계열 중에서 두 번째로 간단한 불포화 유기화합물이다[10]. 또한 가연성 가스로서 연소상·하한농도 및 자연발화온도가 각각 2.4~11.0%, 460℃이고, 공기보다 무거우며, 점화와 역화에 의해

상당한 거리를 이동하고, 격렬하게 증합·산화 등의 반응에 관여한다. 그리고 공기 중의 적절한 농도에서 흡입하는 경우에는 의식 불명을 일으킬 수 있고, 액화 프로필렌과의 접촉할 경우에는 냉동화상을 입을 수도 있다.

프로필렌의 기본적인 물리화학적 성질은 Table 3과 같다.

3.3. 공정 운전조건

대상공정에서 화재 및 폭발 사고의 피해범위를 예측하기 위해서는 운전조건과 재고량(inventory amount)에 대한 데이터가 필요하다. 즉, Fig. 1의 PRP는 6개의 주요 공정지역으로 구분될 뿐만 아니라 각 구간별로 운전조건이 다르기 때문에 각 공정지역에서 온도와 압력이 가장 높은 구간을 선정하였으며, 선정된 구간의 운전조건은 Table 4와 같다.

Table 3. Physical and chemical properties of propylene[10]

Properties	Values
Appearance	liquefied petroleum gas of colorlessness
Smell	a weak but unpleasant smell
Solubility in water [g/m ³]	0.61
Boiling point [°C]	-47.6
Melting point [°C]	-185.2
Viscosity [cP at 16.7°C]	0.00834
Vapor pressure [kPa at 25°C]	1158
Density [kg/m ³]	1.81(gas @ 1.013 bar, 15 °C), 613.9(liquid)
Molecular weight [-]	42.08
Flash point [°C]	-107
Ignition point [°C]	460
Rang of flammability [%]	2.4 - 11.0

Table 4. Operating conditions of 6 process zones for consequence analysis

Process zone	Node		Operating conditions		Chemicals
	From	To	P [kg/cm ² G]	T [°C]	
Depropaniser	C3 LPG pumps	Dryer feed coalescer	33.4	51	C3
Dryer/cont. removal unit	Dryer feed coalescer	C3 LPG dryer	34.4	48	C3
Deethaniser	Deethaniser reflux pump	Deethaniser(Top)	31.4	49	C3
Propylene splitter	Propane product pump	Other uint	22.8	40	C3
Heat pump	Propylene product pump	Other uint	25	49	C3
Dryer regeneration unit	Dryer blower	C3 LPG dryer	7.9	89.5	C1

3.4. 사고 피해범위 산출

PRP에서 주로 사용되는 물질인 C3+는 누출 시 화재 및 폭발 형태로 사고가 발생되며, 이들 사고의 피해범위를 예측하기 위해 상용프로그램인 DNV사의 PHAST RISK ver. 6.7을 사용하였다.

사고 피해범위를 산출하기 위해서는 각 구간별로 실제 공정조건과 누출된 후의 온도와 압력을 입력하여야 한다. 또한 누출 시나리오는 누출공의 크기를 소, 중, 대 및 파열로 구분하여 수립하는 것이 일반적이지만[3,5] 본 연구에서는 최악의 시나리오에서 화재(제트화재, 액면화재, 플래쉬화재, 화구) 사고 및 증기운 폭발사고가 발생하는 경우에 대하여 사고 피해범위를 산출하였다. 즉, 누출공의 크기는 연결된 배관의 크기를 기준으로 하였고, 온도와 압력은 누출이 발생될 경우의 값을 입력하였다. 그리고 각 누출공의 크기에서 누출속도를 산출하고, Table 1 및 Table 2의 점화확률과 폭발확률을 사용하여 사고 피해범위를 산출하였다. 이때, 누출 후의 상태는 대기의 영향을 크게 받기 때문에 일반적으로 사용하는 3 m/s의 바람속도와 C 등급의 대기안정도도 가정하였다. 또한 사고 피해범위에 영향을 미치는 인자 중의 하나인 인벤토리(inventory)는 누출이 발생되면 감지기와 차단시스템에 의해 더 이상 유체의 흐름이 없다고 가정하여 전단에서 용기의 저장량을 최대 누출 가능한 양으로 제한하였다.

IV. 화재 및 폭발 사고의 피해영향 평가

Fig. 2는 6개의 공정지역 중에서 디프로파나이저 지역의 최대 누출직경(200 mm)에 대해 산출한 최대 농도분포를 나타낸 대표적인 그림이다. 프로필렌의 연소하한농도(lower flammable limit, LFL)와 연소상한농도(upper flammable limit, UFL)는 각각

2.4%와 11.0%로, LFL의 1/2에 도달하는 거리는 약 630 m이었고, LFL에 도달하는 거리는 약 303 m를 나타내었다. 이것은 LFL의 1/2범위 안에서는 점화원이 존재할 경우 화재 또는 폭발의 위험이 있을 수 있으며, 특히 303 m 범위 안에서는 점화원에 의해 화재 및 폭발이 충분히 발생할 수 있음을 의미한다.

이와 같은 방법으로 6개의 공정지역에 대해 산출한 최대 농도범위는 Table 5와 같으며, 디프로파나이저 지역과 디에타나이저 지역 및 히트펌프 지역에서 LFL에 도달하는 거리가 약 300 m로 크게 나타났는데, 이것은 압력이 높고, 재고량이 많아서 누출로 인한 확산 효과가 크기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 디프로파나이저 지역에서 누출 후 점화원에 의하여 제트화재가 형성될 때 거리별 복사열의 강도를 나타낸 대표적인 그림으로, 195 m 이내의 범위에서는 제트화재에 의해 장치 및 설비가 손상될 수 있는 37.7 kW/m² 이상의 복사열을 나타내었다. 또한 건축물 내에서도 운전원이 임무 수행이 곤란하고, 건축물 내의 기기에도 복사열이 전달되는 15.77 kW/m²를 나타내는 거리는 240 m로 나타났다. 이것은 펌프의 운전압력이 33.4 kg/cm²G로 작동되고 있어서 배관에서 이탈이 발생할 경우에 높은 압력으로 분출되어 제트화재가 형성됨을 의미한다. 그리고 개인 방호물 없이 정상복을 착용하여도 1분간 노출될 수 있는 허용 가능한 복사열(4.73 kW/m²)을 나타내는 구간은 280 m로, 화구에 의해 사람이 영향을 받을 수 있는 최대범위가 될 수 있다. 즉, 280 m 이내의 범위에 존재하는 사람이 1분 이상의 복사열에 노출될 경우에는 화상의 위험이 존재할 수 있음을 의미한다. 따라서 제트화재가 형성될 경우 1분 이내에 이 범위를 벗어나야 안전하다고 평가할 수 있다.

Fig. 4는 제트화재가 형성될 경우 디프로파나이저 지역에서 4, 12.5, 35, 그리고 37.5 kW/m²의 복사열

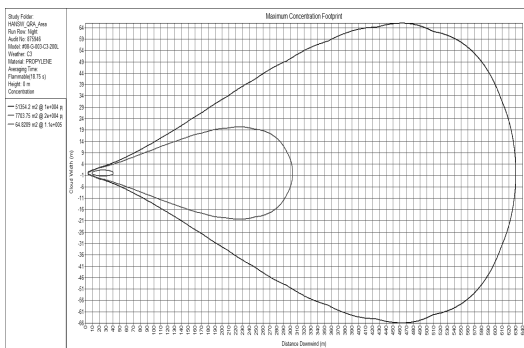


Fig. 2. Maximum concentration footprint at the depropaniser.

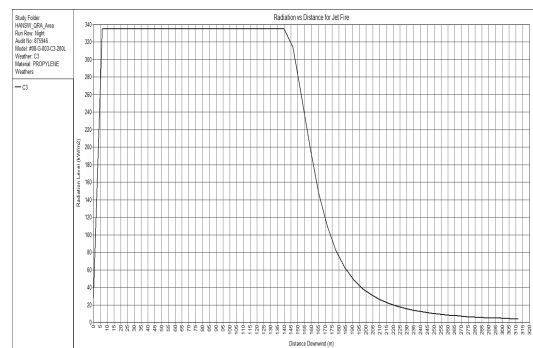


Fig. 3. Radiation intensity vs. distance for jet fire at the depropaniser.

프로필렌 회수공정에서 화재 및 폭발 사고의 피해영향 해석

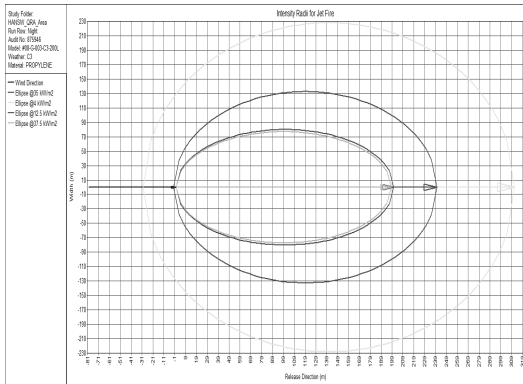


Fig. 4. Intensity radii for jet fire at the depropaniser.

을 나타내는 구간을 나타낸 대표적인 그림으로, 피해범위는 각각 310, 240, 200, 198 m를 나타내었다.

Table 6은 6개의 공정지역에서 제트화재로 인한 복사열의 피해범위를 산출한 결과를 나타낸 것으로, 건조 및 오염제거탑 지역을 제외한 5개의 공정지역에서는 배관에 펌프가 연결되어 있어서 누출시 분출되어 제트화재가 형성되었으나, 건조 및 오염제거탑 지역에서는 용기에서 누출되면서 한꺼번에 많은 양이 누출될 수 있어서 화구가 형성되는 것으로 나타났다. 또한 제트화재가 발생하여 복사열이 37.5 kW/m²를 나타내는 최대거리의 약 200 m를 나타내었다. 따라서 건물 등의 설비에 있어서 이들 구간에서 200 m의 반경 내에서는 제트화재로 치사율이 높기 때문에 사람이 상주할 수 있는 건물은 설치하지 않는 것이 바람직하였다.

Table 5. Maximum concentration footprint for the 6 process zones

Process zone	LFL × 1/2 [m]	LFL [m]	Chemicals	Connected size [mm]	Inventory amount [kg]
Depropaniser	630 (1%)	303 (2%)	C3 (Propylene)	200	34,200
Dryer/cont. removal unit	37 (1%)	18 (2%)	C3 (Propylene)	300	680
Deethaniser	585 (1%)	302 (2%)	C3 (Propylene)	200	12,200
Propylene splitter	199 (1%)	86 (2%)	C3 (Propane)	80	33,000
Heat pump	631 (1%)	302 (2%)	C3 (Propylene)	200	100,000
Dryer regeneration unit	119 (2.2%)	84 (4.4%)	C1 (Methane)	300	136

Table 6. Radiation by jet fire for the 6 process zones

Process zone	Radiation [kW/m ²]			
	4	12.5	35	37.5
Depropaniser	310	240	200	198
Dryer/cont. removal unit	-	-	-	-
Deethaniser	309	239	199	196
Propylene splitter	105	81	68	67
Heat pump	310	239	199	195
Dryer regeneration unit	154	114	86	85

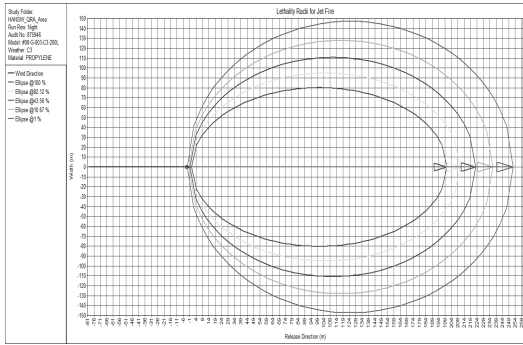


Fig. 5. Lethality radii for jet fire at the depropaniser.

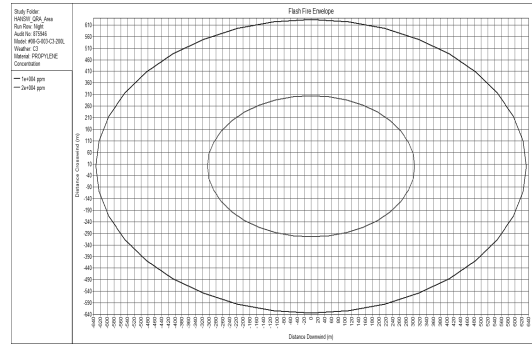


Fig. 6. Flash fire envelop at the depropaniser.

Table 7. Flash fire envelop for the 6 process zones

Process zone	LFL × 1/2 [m]	LFL [m]	Chemicals
Depropaniser	630 (1%)	305 (2%)	C3 (Propylene)
Dryer/cont. removal unit	37 (1%)	18.5 (2%)	C3 (Propylene)
Deethaniser	590 (1%)	300 (2%)	C3 (Propylene)
Propylene splitter	200 (1%)	86 (2%)	C3 (Propane)
Heat pump	635 (1%)	305 (2%)	C3 (Propylene)
Dryer regeneration unit	13.5 (2.2%)	9.2 (4.4%)	C1 (Methane)

Fig. 5는 디프로파나이저 지역에서 제트화재에 의한 치사율을 나타낸 대표적인 그림으로, 200 m 이내의 범위에 있을 경우에는 100%의 치사율을 나타내었고, 82.12, 43.56, 10.67, 1%를 나타내는 구간은 각각 211, 222, 236, 252 m를 나타내었다. 특히, 211 m 이내에서 작업을 할 경우 작업자의 치사율은 82.12%로 매우 높게 나타났다. 따라서 건물을 설계 시에는 복사열의 영향을 고려하여 위치를 선정하고, 건물의 강도는 복사열을 견딜 수 있도록 설계하는 것이 바람직하였다.

Fig. 6은 디프로파나이저 지역에서 플래쉬화재가 형성할 수 있는 LFL과 LFL의 1/2의 범위를 나타낸 대표적인 그림으로, 플래쉬화재가 반드시 나타나는 범위는 305 m의 이내이고, 플래쉬화재가 잠재적으로 발생할 수 있는 범위는 630 m로 나타났다. 플래

쉬화재는 액체로 이동되는 펌프에서 누출되고, 액체 상태에서 기화되어 증기상태에 충분한 에너지원이 형성되지 못한 상태에서 점화원이 작용할 경우에 발생된다.

Table 7은 6개의 공정지역에 대해 플래쉬화재가 발생될 수 있는 LFL과 LFL의 1/2의 범위를 나타낸 것으로, 디프로파나이저 지역과 디에타나이저 지역 그리고 히트펌프 지역이 제트화재에서와 같이 플래쉬화재에서도 화재 발생범위가 상대적으로 크게 나타났다.

Table 8은 6개의 공정지역에서 화구로 인한 복사열의 영향 범위를 나타낸 것으로, 건조 및 오염제거탑 지역과 건조재생유닛 지역에서 화구가 형성되는 것으로 나타났으며, 재고량이 적어서 화구로 인한 결과가 건물에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Table 8. Radiation of fireball for the 6 process zones

Process zone	Radiation [kW/m ²]			
	4	12.5	35	37.5
Depropaniser	-	-	-	-
Dryer/cont. removal unit	167	87	32	30
Deethaniser	-	-	-	-
Propylene splitter	-	-	-	-
Heat pump	-	-	-	-
Dryer regeneration unit	87	43	9	2

Table 9. Fatality by fire model for the 6 process zones

Process zone	Fatality [m]					Model
	200 (100%)	211 (82.12%)	222 (43.56%)	236 (10.67%)	252 (1%)	
Depropaniser	200 (100%)	211 (82.12%)	222 (43.56%)	236 (10.67%)	252 (1%)	Jet fire
Dryer/cont. removal unit	33 (100%)	35 (2.982%)	38 (2.113%)	40 (1.468%)	43 (1%)	Fireball
Deethanizer	197 (100%)	210 (82.12%)	220 (43.56%)	234 (10.67%)	250 (1%)	Jet fire
Propylene splitter	68 (100%)	72 (82.12%)	75 (43.56%)	80 (10.67%)	85 (1%)	Jet fire
Heat pump	199 (100%)	210 (82.12%)	221 (43.56%)	235 (10.67%)	250 (1%)	Jet fire
Dryer regeneration unit	16 (100%)	-	-	-	-	Jet fire/ fireball

Table 10. Explosion radius by explosion for the 6 process zones

Process zone	Explosion radius [m]		Explosion mass [kg]
	Major	Minor	
Depropaniser	161.73	323.47	34,240
Dryer/cont. removal unit	43.80	87.60	680
Deethanizer	-	-	-
Propylene splitter	-	-	-
Heat pump	231.18	462.37	100,000
Dryer regeneration unit	26.39	52.77	136

Table 9는 6개의 공정지역에서 화재로 인한 사망 확률을 나타낸 것이다. 100%의 사망 확률을 나타내는 거리는 디프로파나이저 지역과 디에타나이저 지역 그리고 히트펌프 지역에서 약 200 m를 나타내었다.

즉, 재고량과 압력이 크게 영향을 미치지 때문에 제트화재로 인해 사망 확률이 100%인 구간의 거리가 넓게 나타났다.

폭발사고에서는 과압이나 복사열을 포함한 직접

적인 폭풍영향과 폭발 비산물에 의해 피해를 입을 수가 있다. 따라서 Table 10은 6개의 공정지역에서 폭발사고에 의한 과압의 영향범위를 나타낸 것이다. 표에서와 같이 디에타나이지 지역과 C3 스플리터 지역을 제외한 나머지 지역에서 폭발이 발생하는 것으로 나타났으며, 히트펌프 지역에서는 폭발로 인해 사망에 이를 수 있는 피해범위가 약 231 m로 상대적으로 크게 나타났다. 이것은 재고량과 압력이 크게 영향을 미친 것으로 생각되며, 폭발을 예방하기 위해서 화재 등 각종 재해위험을 사전에 예방토록 해야 하고, 신속한 대처방안이 요구된다.

V. 결 론

프로필렌 회수공정(PRP)에서 PHAST RISK(ver. 6.7) 프로그램을 사용하여 화재 및 폭발 사고의 피해 범위를 산출하고, 피해영향을 해석하였다.

그 결과, PRP는 6개의 공정지역(디프로파나이지, 건조 및 오염제거탑, 디에타나이지, C3 스플리터, 히트펌프 및 건조재생유닛)으로 구분하여 사고 피해 범위를 산출할 수 있었다. 그리고 디프로파나이지 지역, 디에타나이지 지역 및 히트펌프 지역에서는 전단에 환류드럼이 있어서 재고량이 많고, 펌프의 이송압력이 높아서 누출량이 크기 때문에 연소하한 거리가 300 m 이상을 나타내어 화재 및 폭발 사고의 피해범위가 매우 크게 나타났다. 또한 건조 및 오염제거탑 지역은 용기누출에 의해 화구를 형성하였고, 나머지 5개의 공정지역에서는 펌프가 배관에 연결되어 있어서 누출물질의 분출에 의해 제트화재를 형성하였다.

따라서 제트화재가 발생하는 공정지역에서는 200 m의 반경 내에서 사람이 상주할 수 있는 건물을 설치하지 않는 것이 바람직하고, 재고량과 압력이 큰 공정지역에서는 사고위험을 사전에 예방해야 하며, 사고 발생 시에는 신속한 대처방안 수립이 요구되었다. 또한 이상의 결과로부터 석유화학공정에서 잠재 위험요소를 확인하고, 사고 결과분석을 통해 안전대책 수립 등의 위험관리 방안을 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

참고문헌

- [1] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), *Consequence Analysis (CA)*, Industrial Safety Training Institute of KOSHA, ISTI-2001-29-86, (2001)
- [2] Center for Chemical Process Safety(CCPs), *Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases*, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), (1999).
- [3] Center for Chemical Process Safety(CCPs), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), (2000)
- [4] API, *Risk Based Inspection Base Resource Document : API-581*, American Petroleum Institute, 1st ed., (2000)
- [5] DNV, *Quantitative Risk Assessment(QRA) Principles*, Det Norske Veritas, (2010)
- [6] Roy, P. K., Bhatt, A., and Rajagopal, C., "Quantitative risk assessment for accidental release of titanium tetrachloride in a titanium sponge production plant", *J. of Hazardous Materials*, **102**(2-3), 167-186, (2003)
- [7] Si, H., Ji, H., and Zeng, X., "Quantitative risk assessment model of hazardous chemicals leakage and application", *Safety Science*, **50**(7), 1452-1461, (2012)
- [8] Fabbrocino, G., Iervolino, I., Orlando, F., and Salzano, E., "Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas", *J. of Hazardous Materials*, **123**(1-3), 61-69, (2005)
- [9] Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA), *Safety Planning in Chemical Industry*, KOSHA, Korea, 8-28, (1993)
- [10] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), <http://www.kosha.or.kr/msds/msdsMain.do?menuId=69>, (2012).