



독성가스 시설의 정량적 위험성 평가를 이용한 비상대응시스템 구축

†유진환 · 김민섭 · 고재욱

광운대학교 화학공학과

(2005년 4월 20일 접수, 2005년 6월 20일 채택)

Development of Emergency Response System for Toxic Gas Facilities Using Quantitative Risk Analysis

†Jin Hwan Yoo · Min Seop Kim · Jae Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul Nowon-Gu, Korea

(Received 20 April 2005, Accepted 20 June 2005)

요 약

현재 여러 가지 목적으로 사용되고 있는 독성가스는 누출사고 발생시 확산되는 특성이 있어 피해 범위가 매우 넓고, 인체에 치명적이라는 특징을 가지고 있다. 따라서, 위험성이 높은 독성가스 이용시설은 누출사고에 대비한 사고 대응 시스템을 구축하여 비상상황 발생시 즉각 대응이 가능하도록 하여야 한다. 이에 본 연구에서는 FTA기법을 이용한 사고 시나리오 선정 및 빈도 분석과 DNV사의 PHAST(Ver 6.2)를 이용하여 독성가스 누출에 의한 확산 사고영향 분석을 실시하였다. 그리고, 정량적 위험성 평가 결과들을 이용하여 독성가스시설의 비상대응시스템을 구축하였다.

Abstract – Today toxic gas has various uses. If there is a release accident, the gas rapidly disperse into the atmosphere. The extent of damage due to toxic gas accident is very wide and fatal to human being. So, it is necessary for toxic gas facilities which have high risk to construct an emergency response system that prepare to toxic release and make immediate response to be possible at accident appearance. In this study accident scenario were selected and frequency analysis was executed using FTA technique. Dispersion effect of toxic gas release was analyzed using DNV company's PHAST(Ver. 6.2). Finally, an emergency response system was developed using results of quantitative risk analysis.

Key words : Emergency Response, Toxic Gas Release, Quantitative Risk Assessment

I. 서 론

독성가스 누출 사고 시의 적절한 비상대응 체계를 구축하기 위해서는 위험설비 및 물질의 취급 현황을 파악하고 관리하여야 하며, 각 위험설비와 위험물질로부터 발생할 수 있는 사고의 유형, 발생가능성 및 그로 인한 피해를 객관적인 단위로 평가하는 정량적 위험성 평가가 수행되어야 한다. 독성가스 누출 사고에 대한 대비로써 주요 위험설비에 대한 위험성평가, 위험요소의 제거 및 통제 방법 수립, 비상대책 등의 체계적인 안전대책 수립에 대한 필요성이 증대되고 있다. 미국 및 유럽연합 국가들은 화학공장의 사고예방 기법을 연구하여 보급하고 있으며, 일부 국가는 유해물질 취급

사업장을 대상으로 위험성 평가 기법을 이용한 법적 기준을 제시하고 있다. 국내에서도 이러한 체계적인 비상대응체계의 필요성이 제기되고 있으며, 지속적인 안전 분야에 대한 연구에 힘입어 정량적 위험성 평가기술의 상당한 발전에 의해 정량화된 수치를 제공하는 사고 빈도 분석의 실시 및 시나리오 선정이 가능하게 되었다. 또한 피해영향범위를 평가할 수 있는 사고결과의 예측을 실시할 수 있게 되었다.

따라서, 본 연구에서는 FTA기법을 이용한 사고 빈도 분석 및 시나리오 선정을 실시하고, DNV사의 PHAST(Ver 6.2)를 이용한 독성가스 누출에 의한 확산 사고영향 분석을 실시하였으며, 정량적 위험성 평가의 결과를 기반으로 비상대응시스템 구축을 실시하였다.

†주저자:jhyoo@kw.ac.kr

II. 정량적 위험성 평가

2.1. 독성 가스

인체에 유해성이 있는 가스를 독성가스라 분류하며, 법적으로 허용농도 200 ppm 이하인 가스이며, 일산화탄소(50 ppm), 암모니아(25 ppm), 염소(1 ppm), 아황산가스(5 ppm) 등이 있다.

2.2. 사고 빈도 분석

2.2.1. FTA(Fault Tree Analysis)

연역적인 분석 방법으로 대상 시스템의 예기치 못한 사건(정상사건, Top-event)을 결정하고 시스템의 환경과 작업의 상황 하에서 시스템을 분석하여 예기치 못한 사건이 일어날 수 있는 모든 가능한 방법들을 Gate-by-Gate 방식의 Graphical 방법으로 발견하는 분석기법이다.

2.2.2. FTA의 효과

정상사건과 원인 및 각 요소들 간의 상관관계를 가시적으로 확인할 수 있고, 분석자가 직접 시스템의 행동을 관찰할 수 있으며, 사고의 원인이 될 수 있는 가능한 모든 결합들을 추론할 수 있다. 또한, FTA를 이용한 분석결과에 정량적인 수치를 대입함으로써 사고원인의 중요도를 알아볼 수 있고, 가장 중요한 부분을 중점적으로 관리하여 사고발생을 최대한 감소시킬 수 있다.

2.2.3. FTA의 수행절차 및 필요사항

FTA 수행 절차는 Fig. 1과 같다.

FTA 수행을 위한 정보는 다음과 같다.

- 공정/시스템 내에 있는 모든 물리적, 화학적 정보, 공정 정보

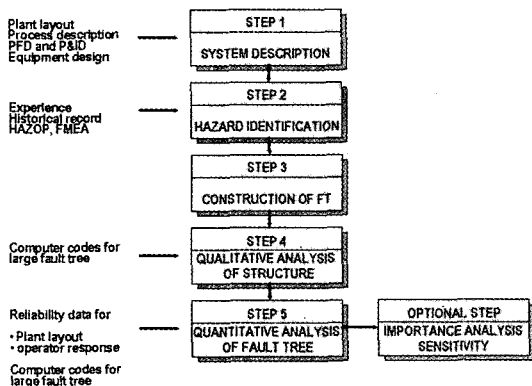


Fig. 1. Logic diagram for FTA application.

- PFD / P&ID 및 장치 명세서

- Reliability Data

- 장비 고장과 시스템 upset에 대한 지식

- 2-4명으로 구성된 경험 있는 팀

2.2.4. Minimal Cut-set

AND gate로만 이루어진 하나의 Basic event로서 Top event가 일어날 수 있는 최소한의 경로이다. Cut-set을 결정한 후 중요도를 산출할 수 있다.

$$\langle F_T = \sum F_i \text{ or } P_T = \sum P_i \rangle \quad (1)$$

- F_T (or P_T) = Frequency (or Probability) of the top event

- F_i (or P_i) = Frequency (or Probability) of the cut set C_i

- C_i = Cut set number I

- Cut set 중요도 = cut set frequency / top event frequency * 100

2.3. 사고 영향 분석

본 연구에서는 독성가스 누출사고에 대한 분석을 실시하며, 확산 모델, 독성영향 기준 및 누출사고에 의한 영향 평가를 위한 Probit 방정식을 이용하여 실시하였다.

2.3.1 Dispersion

유해물질의 대기 중 누출은 인근지역으로의 피해영향을 계산하기 위해 꼭 평가할 단계이며, 이를 위해 누출된 물질의 누출속도 등 여러 가지 정보들이 필요하며, 누출된 증기의 확산에 대한 예상은 정량적 위험성 평가를 위한 핵심적인 것으로서 다음과 같이 2가지 종류의 증기운 거동과 3가지 서로 다른 배출 시간 모드를 정의할 수 있다.

확산의 기본개념은 다음의 세 가지로 설명될 수 있다.

첫째, 위험물질이 누출되는 순간에 대한 확산 모델은 저장하고 있는 용기 내부의 압력에 의해 누출량이 좌우된다. 그리고 위험물이 누출되는 순간 기후의 영향이나 지형에 좌우되지 않고 용기내부의 힘, 즉 기계적인 힘에 의하여 확산 형태가 좌우된다.

따라서 이 과정을 기계적 난류(mechanical turbulence)

Table 1. Vapor cloud behavior and duration of release.

Vapor cloud behavior	Duration of release
Neutrally buoyant gas	순간누출 (Puff)
(Positively)buoyant gas	연속누출 (plumes)
Dense (or negatively buoyant)gas	Time varying continuous

현상이라 한다.

둘째, 기계적 난류의 경우를 지나면서 위험물의 증기가 공기와 접촉하게 되는데 이때는 증기와 공기와의 비중차에 의하여 서로 희석되면서 확산을 진행한다. 즉 가벼운 증기는 상층부로 상승하고 무거운 증기는 밑으로 내려가는 경향을 보인다. 이 과정에서 확산은 서서히 진행되며 대기의 영향이나 풍속의 영향을 덜 받는 경우이다. 그래서 이 단계를 부력에 의한 난류현상(turbulence due to buoyancy)이라 한다. 정도의 차이는 있으나 외부 기후에 영향을 받기 시작하는 단계로 보아야 한다.

셋째, 누출 또는 발생된 증기가 대기조건에 의존하여 확산되는 과정이다. 즉, 어느 정도 확산이 이루어지면 증기확산 형태는 풍속, 풍향에 영향을 받으면서 확산되는 것으로 난류에 의한 확산(dispersion by atmospheric turbulence)이라고 한다. 확산 모델로서 널리 알려진 Gaussian 모델은 마지막 확산 단계인 대기의 영향을 받는 단계에서 어떻게 증기가 확산되어 나가는 것인가를 보여준다. 따라서 사고 지역에서의 위험 물질의 확산을 예측하기 위해서는 수학적 모델의 구축이 필요하다.

대기 확산에 영향을 주는 매개변수는 바람의 속도, 대기 안정도, 대기조건, 누출지점의 높이, 누출된 물질의 부력과 운동량 등이 있다.

확산 모델을 사용하는 Plume 또는 Puff의 계산 과정은 먼저 누출원의 비율 또는 고도, 질량 그리고 유형을 정의하고 증기운의 특성이 어떤지를 측정 한 후 누출원이 발생한 지역의 정보(풍속, 대기 안정도, 도시 혹은 시골)를 포함시켜 먼저 전개 변수를 계산하고, 농도를 계산한다. 또한 정확한 증기운의 형태 정의를 위해 수많은 반복을 거듭하게 된다.

2.3.2 독성 영향 기준

다음은 본 연구에서 기준으로 적용할 ERPG의 기준 농도이다.

■ ERPG-1 (1 ppm)

가벼운 일시적 영향 이외의 증상을 겪지 않거나 명확하게 정의된 불쾌한 냄새를 맡지 않고 개인이 최고 1시간까지 노출될 수 있는 최대 대기 중 농도.

■ ERPG-2 (3 ppm)

개인의 보호 조치 능력을 침해하는 심각한 영향 없이 개인이 최고 1시간까지 노출될 수 있는 최대 대기 중 농도.

■ ERPG-3 (20 ppm)

생명을 위협하는 영향을 겪지 않고 개인이 최고 1시

간까지 노출될 수 있는 최대 대기 중 농도.

2.3.3 Probit

독성물질 누출로 인한 피해영향을 계산하기 위한 Probit 식은 다음과 같다.

$$Pr = a + b \log_e(Cnt) \quad (2)$$

여기에서 a, b, n 은 상수

C = 농도, ppm

t = 노출 시간, 분

III. 비상대응계획

3.1. 비상대응계획 개요

비상대응계획을 수립하는 접근방법은 예방, 대비, 대응, 복구의 사이클 4단계를 통하여 구축된다. Fig. 2는 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계 사이클을 나타낸다.

3.1.1. 예방(Prevention)

위험 물질 및 설비를 취급하는 사업장의 위험관리는 다중 방호 시스템(multi layer protective system)개념을 채택하고 있다. 이 시스템은 공정의 잠재위험을 최소화 하고 사고 발생시, 체계적인 대응이 가능하게 설계되었으며, active 및 passive 누출 제어에 의한 조업정지 시스템을 포함한다. 안전 방호 층(safety protection layers)은 근본적인 공정관리, 조업정지 시스템, 누출예방 시스템, 공장의 비상대응, 지역사회 비상대응으로 구성되어 있다. 그러나 단일 사건에 의해서 다중 방호 시스템이 전체적으로 영향을 받을 수 있는 것에 유의해서 이 시스템을 설계해야 한다.

비상사태를 예방하고 완화하기 위해서는 공정 위험성을 파악하여 적합한 운전절차, 교육 훈련, 예방 관리, 변경 관리 그리고 인적 오류 분석을 체계적으로 구성하고 수행하여야 한다. 또한 Plant 설계는 근본적으로 화재, 폭발, 누출 등의 사고를 예방할 수 있도록 안전성을 고려하여 설계되어야 하며, 사고 원인 및 결과의 사전확인이 가능 하다면, 수립된 비상 대책은 사고

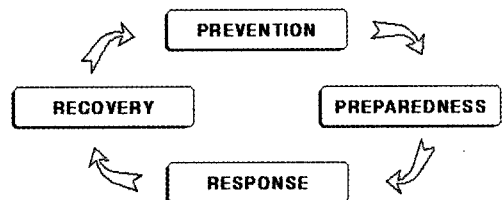


Fig. 2. Four phases of emergency management.

가능성을 최소화하고 공장 및 주변지역에 대한 사고의 피해 영향을 감소시킬 수 있다.

3.1.2. 대비(Preparedness)

대비단계는 공정 설비에서 예측하기 어려운 사고의 예방, 완화 대책 그리고 제어 시스템의 실패에 의해서 일어날 수 있는 비상사태에 대해서 준비하는 단계이다. 본 단계의 첫 번째 과정은 발생 가능한 사고를 확인하는 것이다. 사고 시나리오의 확인은 공정 잠재 위험 분석을 통해서 확인될 수 있다. 사고 시나리오는 위험성에 초점을 맞추어 최악의 사고시나리오와 대안적인 사고 시나리오로 우선 순위화하여 평가되어야 한다. 그러나 비상대응계획을 구축하기 위해서 시나리오의 우선순위와 선택은 조금씩 다르게 선정될 수 있다.

사고 시나리오의 확인과 함께 비상대응계획 관리자는 선택된 사고의 사고결과와 크기, 형태 그리고 가능성을 정의하여야 한다. 비상대응계획을 구축하기 위한 사고 시나리오는 다음에 대해서 설명한다.

- 최악의 사고 시나리오 정의.
- 보다 복잡한 공정의 가장 큰 잠재 위험을 가지고 있는 공장 지역 평가 기술.
- 명확한 사고확인 방법.
- 사고 시나리오 선택기준 및 평가방법.

3.1.3 대응(Response)

대응 단계에서는 비상대응을 위한 대응 전략 및 상호 지원 시스템을 확인하는 것으로 사고명령체계(incident command system)를 정의하고 사고명령체계를 어떻게 이행할 것인가를 확인한다. 그리고 사고를 완화하기 위해서 요구되는 중요한 대책에 대해서 토의한다. 또한 화재, 폭발 오염물 및 독성가스 제거를 위해서 효과적인 대응 대책을 구축한다.

3.1.4 복구(Recovery)

비상대응계획의 마지막 단계로써 시간, 사람, 자원과 관리자의 리더십이 필요하게 된다. 복구를 위해서 사전에 계획된 능력은 복구하는데 소요되는 시간과 보다 중요한 근원적인 비용의 상관관계 때문에 중대하게 될 수 있다. 장기간의 복구를 결정하는 요인은 다음과 같다.

- 피해의 크기 및 규제기관의 요구
- 복구를 위한 사람, 자원/재정 책임과 유효성
- 기타(날씨, 중요 품목에 대한 전달)

IV. 사례연구

4.1. 대상 공정

본 연구의 대상공정은 ○○정수장 염소(Cl₂)공정이며, 국내 정수 시설에서 보편적으로 사용하는 1 ton의 고압 용기를 사용하는 형태로 설치운영 중인 시설이다.

4.2. 사고 빈도 분석

염소가스 투입시설의 가스누출 빈도를 계산한 결과 $5.71 \times 10^{-5}/\text{year}$ 로 나타났으며, 본 결과는 염소를 취급하는 일반 화학공장 사고빈도인 $1.65 \times 10^{-3}/\text{year}$ 보다 안전한 수치임을 알 수 있었다.

주요 사고 발생 빈도는 다음과 같다.

- 실린더 누출 : $1.28 \times 10^{-3}/\text{year}$
- 배관 누출 : $1.14 \times 10^{-4}/\text{year}$
- 가스 중화시스템 미 작동에 의한 누출 : $4.11 \times 10^{-2}/\text{demand}$

4.3. 사고 영향 분석

저장 Tank 파열에 의한 염소 1 ton 누출시 대기안정도 F 조건의 사고영향분석을 실시하였다. 전 세계적으로 가장 보편적으로 사용하고 있는 독성영향 지침인

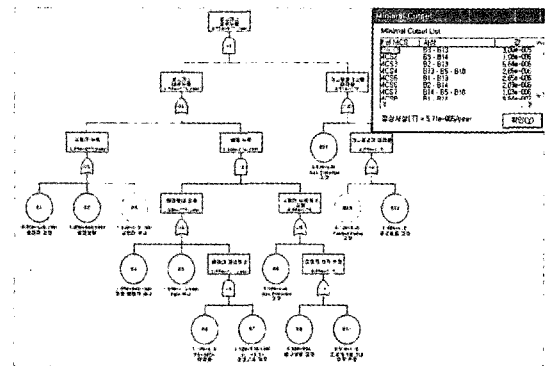


Fig. 3. Fault tree of chlorine facility.

Table 2. Effect distance of each season.

Concentration	Distance(m)			
	봄	여름	가을	겨울
Fatality 100% (948 ppm)	64.0	107.0	75.0	61.0
ERPG-1 (1 ppm)	3130.5	4801.2	3515.1	3756.0
ERPG-2 (3 ppm)	1610.6	3142.8	1743.4	1920.3
ERPG-3 (20 ppm)	504.9	1556.9	498.1	591.9

Table 3. Distance for a given fatality.

치사율 (%)	Probit	Concentration (ppm)	피해거리 (m) ; 도달시간 (s)							
			봄		여름		가을		겨울	
10	3.72	88.2	245	788	438	1028	244	853	285	898
20	4.16	112.1	210	764	373	968	198	812	250	866
30	4.48	133.4	188	749	342	939	181	796	218	837
40	4.75	154.4	166	734	315	913	165	782	191	812
50	5.00	177.0	152	725	285	886	148	766	177	798
60	5.25	202.7	139	716	260	862	137	755	160	782
70	5.52	234.7	125	705	239	842	126	744	141	763
80	5.84	279.3	112	696	213	817	114	732	126	749
90	6.28	354.7	96	684	189	793	99	718	105	728
100	8.09	948.0	64	658	107	711	75	690	61	679

ERPG 및 100% fatality에 해당하는 피해결과를 산정하였으며, Table 2는 그 결과 값이다.

4.3.1 치사율에 따른 피해거리

Table 3은 치사율 10%에서 100%까지의 해당 농도 및 정수장 주위의 계절별 피해거리를 산정한 결과이며, 식 (2)에 염소의 Probit 방정식의 상수 $a = -8.29$, $b = 0.92$, $n = 2$ 를 각각 대입한 후 관심 농도와 해당 시간을 대입하여 산출하였다. Table 3에서 치사율이 10%인 경우는 Probit 값이 3.72에 해당하고 계산식에 의하여 농도가 88.2 ppm인 것을 알 수 있다. 따라서 그에 따른 피해거리는 위험성 평가에 의하여 봄의 경우 245 m 거리까지 독성 영향이 미친다는 것을 알 수 있다.

4.3.2. Toxic Effect

Table 4는 염소가 누출사고가 발생시 각 지점에서 염소농도 계산 값이다. 예를 들어, 봄철의 경우 누출지점에서 102 m 떨어진 관리동은 사고 후 689초 경과시 323 ppm의 농도로 오염되는 것을 알 수 있으며, Table 3에서 확인 할 수 있듯이 치사율은 약 85% 정도가 된다.

Table 4. Concentration of each season.

누출원으로부터 거리	Concentration (ppm) ; 도달시간 (s)							
	봄		여름		가을		겨울	
관리동 (102 m)	323	689	1052	706	339	720	376	725
수위실 (126 m)	234	706	708	725	234	744	280	748
휴게소 (204 m)	118	760	308	808	109	817	143	824
주변식당 (234 m)	93	780	244	837	93	844	123	851

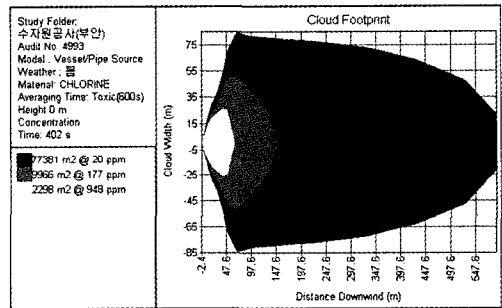


Fig. 4. Cloud width/distance downwind.

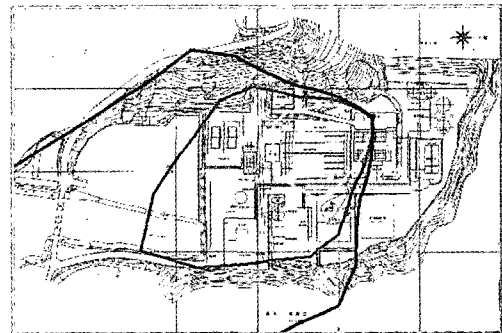


Fig. 5. Individual risk.

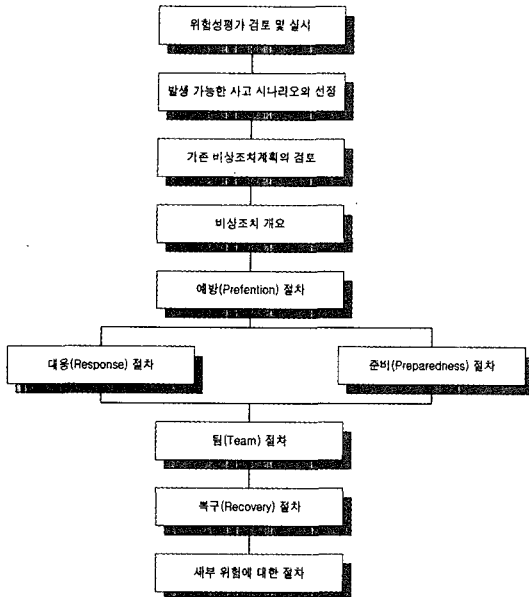


Fig. 6. Establishment procedure of emergency response plan.

4.4. 비상대응 계획 수립

Fig. 6은 비상대응계획의 구축절차를 순차적으로 나타낸 것이며 세부적인 구축절차의 내용은 다음과 같다.

- 위험성 평가 검토 및 실시

기존에 실시한 위험성 평가를 검토하고 미비한 점에 대한 위험성 평가를 실시.

- 발생 가능한 사고 시나리오 선정

위험성 평가 결과를 통해 발생 가능한 시나리오를 선정하여 비상조치계획 수립.

- 기존 비상조치계획의 검토

기존에 수립된 비상조치계획을 검토하여 부족한 점 파악 및 보완해야 할 비상조치계획에 대한 자료를 조사 및 수집.

- 비상조치 개요

조직, 책임과 권한, 비상조치 수준, 설비 등이 포함된 비상조치 대응 관리 프로그램의 개요를 설명하고, 비상

Table 5. Scenario of emergency response training (Release of Chlorine).

단 계	시간	상 황	조치내용	인 원	비고
I. 가스 누출	14 : 00	⇒ 통제실 누출경보	☞ 원격조정통제 - 중화설비 작동 확인, 염소실린더 Main v/v closed, 배관 내 MOV closed ☞ 복구팀 비상연락 / 사업소 정문 차단 ☞ 소방서 / 경찰서 비상연락	통제실 근무자 청원경찰	
II. 초동조치	14 : 00 ~ 14 : 13	⇒ 풍향 : NNW ⇒ 풍속 : 1.7 m/s	☞ 인근주민 및 관광객 대피 지시 (누출 후 13분 경과 후 휴게소, 주변식당 오염)	청원경찰	
III. 유관 기관출동	14 : 02 ~ 14 : 27		☞ 소방서, 경찰서 현장도착	소방서 경찰서	
IV. 응급조치 (유관기관)	14 : 27 ~ 15 : 40	⇒ 염소 1 ton 누출 ⇒ 부상자 발생	☞ 누출발생지역 경계 및 출입통제 (사업소 주변 1.5 km 밖 차단) → 부상자 응급조치 후 후송(소방서) ☞ 소석회 다량살포	경찰서 소방서	상황전파 : 무전기 소석회 : 중화실보관
V. 복구팀 도착	15 : 40 ~ 16 : 00	⇒ 응급조치	☞ 휴대용 감지기 이용 누출확인 ☞ 응급조치 - 벨브폐쇄, 누출부위 막음 (납마개, 고무시트, 납패킹) - 투입실 내 염소가스 완전배기 - 가스농도 측정	복구팀	
VI. 상황종료	16 : 00 ~ 16 : 30	⇒ 응급조치 완료	☞ 현장수습 ☞ 원인조사 착수	복구팀	

사태의 예측, 확실한 사고, 기타상황에 대해서 설명한다.

● 예방 절차

이 절차서는 발생 가능한 비상사태의 확인과 피해 영향의 최소화 대책을 위해서 사고 시나리오별로 기술하며, 절차서 에는 안전계획 또는 기타문서가 포함.

● 준비 절차

연중검사, 지역사회와 관계, 상호지원 협정, 장비 확보, 기술훈련을 포함한 비상조치계획에 대한 사람 및 설비의 모든 준비활동 포함.

● 대응 절차

보고서, 절차서, 공공정보, 상호원조, 보완, 통신, 정보를 포함한 모든 비상사태 대응 절차, 장비의 운전, 사용될 장비, 적절한 개인 및 조직이 수행할 비상조치의 자세한 절차를 포함.

● 팀 절차

비상조치팀 구성 세부사항 및 절차를 작성.

● 세부 위험에 대한 절차

확실한 사고 시나리오(화재, 폭발, 독성물질 누출 등) 및 자연재해와 같이 특정 비상사태에 대한 대응 방안을 구축.

● 복구 절차

비상사태 대응의 종료 후, 실시하여야 할 복구절차, 사고조사와 근로자의 지원, 외부기관과의 커뮤니케이션 절차가 포함.

4.5. 비상대응 계획 훈련 시나리오

Table 5는 정량적 위험성평가 결과를 이용한 비상대응 훈련을 위한 시나리오 이다. 빈도 분석에 의한 가장 발생가능성 높은 사고시나리오 선정과 사고결과 분석에 의한 최악의 사고결과를 바탕으로 작성되었으며, 유사시를 대비한 비상대응 훈련을 위한 계획이다.

본 연구에서는 유관기관의 현장 출동 시간 및 대응주체 등을 반영하여 작성하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 독성가스 시설에서 정량적 위험성 평

가 결과를 활용한 체계적인 비상대응 시스템을 구축하였다.

본 연구를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 현장에서의 중대사고 발생의 예방과 사고 발생시 비상조치 방법에 대한 새로운 방향을 제시할 수 있다.
2. 향후 국내의 독성 가스 사용시설에 적합한 비상대응 시스템 구축의 기초가 될 수 있는 기반을 제공하였다.
3. 독성물질 누출 사고 발생시 파생되는 주변 지역의 인적물적 피해 및 환경 피해를 사전에 예측할 수 있는 모델을 제시할 수 있다.

결론적으로, 독성가스를 생산저장사용하는 모든 산업시설에서 본 연구에서 구축한 시스템을 활용한다면 보다 효과적으로 사고를 예방할 수 있으며 사고 발생시에도 매우 효과적으로 대처할 수 있는 방법을 제시할 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

이 연구 결과는 과학기술부와 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 인위재해방재기술사업의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] CCPS, Guideline for Technical Planning for On-site Emergencies, AIChE, New York, (1995)
- [2] CCPS, Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Edition AIChE, New York, (2000)
- [3] CCPS, Guideline for Hazard Evaluation Procedure, AIChE, New York, (1989)
- [4] CCPS, Guideline for Technical Management for Chemical Process Safety, AIChE, New York, (1989)
- [5] CCPS, Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models. AIChE, New York, (1987)
- [6] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, 2nd Edition Prentice-Hall, New Jersey, (2002)