

유해화학물질의 종합위해등급 알고리즘 개발에 관한 연구

A Study on Total Hazard Level Algorithm Development for Hazardous Chemical Substances

고재선[†] · 김광일* · 정상태*

Ko, Jae-Sun[†] · Kim, Kwang-II* · Jung, Sang-Tae*

서울시립대학교 지진·방재연구소 책임연구원
*인제대학교 산업안전시스템공학부 교수

요 약

본 연구에서는 대상물질을 선정한 후 그에 따른 세 가지 기준 즉 독성, 화재폭발, 환경기준과 각각의 피해예측기법을 설정하고 이 기준들을 알고리즘을 통한 통합한 종합위해등급으로서 선정된 대상물질에 적용하였다. 특히, 환경기준은 포괄적인 개념으로서 USCG 및 MSDS의 환경기준 분류와 NFPA의 건강위해성(Nh) 중 환경관련 부분을 조합하여 환경지수 모델화를 하였다. 또한 각 기준에 따른 피해예측 기법을 선택하여 지역별 임의에 위치한 화학물질 관련업체에 사용 또는 저장 중인 유해화학물질에 대해 적용하여 사용물질에 대한 종합위해등급 설정(단일물질에 대한 가연성, 독성, 반응성, 환경성에 대한 Hazard level 및 표시 모델화) 및 그에 따른 사고시 피해예측 및 강도산정(CPQRA, IAEA, VZ eq), Risk contour를 구할 수 있었다. 이 결과 모든 화학공정 및 저장 등에서 발생할 수 있는 독성 누출, 화재폭발의 잠재적 위험성산정을 통한 사전 안전성 평가의 Tool로 활용이 가능하다.

ABSTRACT

In the study, three criteria(toxicity, fire & explosion, environment) and damage prediction method for each case was set up, and all these criteria were applied to the subject substance that was selected as hazardous level by integrating all criteria through Algorithm. Particularly, the environment criterion is a comprehensive concept, environment index modeling by combining USCG(United State Coast Guard) & MSDS(Material Safety Data Sheet) environment criteria classifications and the environment part of NFPA's health hazardousness(Nh). And for damage prediction method of each criterion were adopted and they were applied to hazardous chemical substances in use or stored by chemical substance related enterprises located in each region that made possible to set up total hazard level of used substances(inflammability, poisonousness and counteraction on a unit substance, and hazard level & display modeling on environment) & damage prediction in case of accident & solidity setup(CPQRA : Chemical Process Quantitative Risk Assessment, IAEA : International Atomic Energy Agency, VZ eq : Vulnerable Zone) risk counter. Thus it is deemed that it can be applied to toxic substance leakage that can happen during any chemical processing & storage, application as a tool for prior safety evaluation through potential dangerousness computation of fire & explosion.

Keywords : Hazardous Chemical Substance, Hazard Level, Risk Contour, Damage Prediction VZ(Vulnerable Zone)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

위험물질의 누출이나 폭발 등으로 인한 중대산업사고는 전 세계적으로 선·후진국에 관계없이 발생되고

있으며 화학물질의 취급 및 물동량이 많아짐에 따라 화학물질로 인한 유출사고도 대형화되고 또 그 빈도도 커지고 있다. 특히 1976년 이태리 세베소의 독성물질의 누출사고 및 1984년 인도 보팔에서 일어난 MIC누출사고 이후 각국에서는 화학물질의 관리규제를 더욱 강화하고 비상사고에 대비한 많은 제도적 장치를 만들고 있다. 따라서 국내에서도 유해화학물질 취급지역의

[†]E-mail: kjs@uoscc.uos.ac.kr

위해등급표준화에 따른 알고리즘의 적용으로 비상시 계획지침으로 활용할 수 있고 사전에 사고발생가능지역 및 확률(사고발생가능성)이 계상되며 또한 사고시 피해범위를 예측, 관련자(방재기관, 국민, 정부기관)에

게 신속히 필요한 정보를 제공함으로써 피해를 극소화 하는데 목적을 두었다.

1.2 연구내용 및 방법

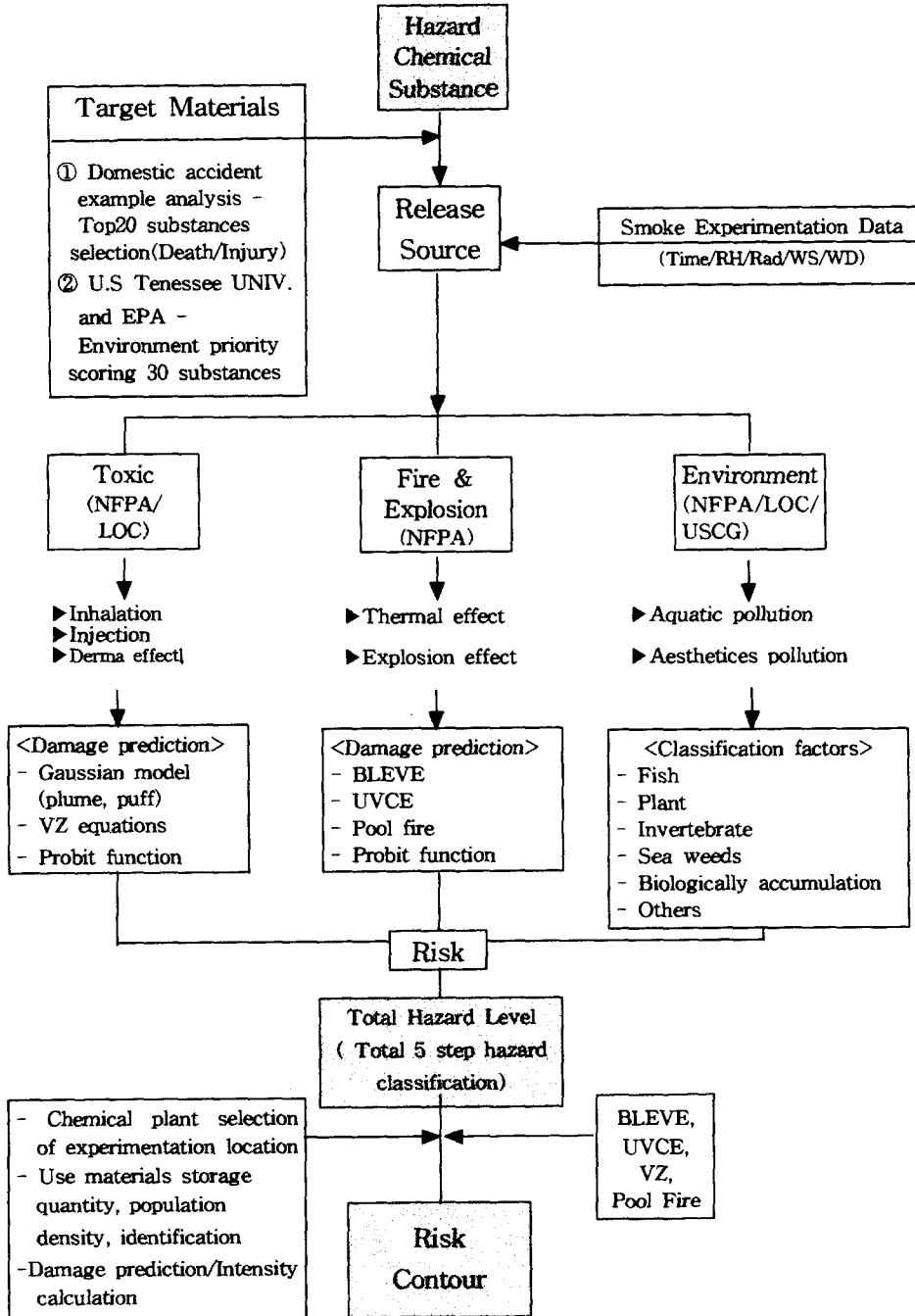


Fig. 1. Hazard level exponent abstract.

2. 위해등급을 위한 대상물질 선정

국내의 사고사례를 중심으로 한국화재보험협회, 한국가스안전공사, 한국산업안전공단의 재해사례를 7가지로 대 분류하여 사망/상해 및 피해액 기준으로 상위 20개의 물질을 정하였다. 국외의 자료는 미국의 EPA 및 테네시 대학에서 환경 우선 순위화한 물질 30개를 선택하여 조합하였다.

3. 대상확인

3.1 잠재위험의 확인

공정의 대형화와 복잡화로 인한 사고의 가능성은 항

상 존재하며 이를 위해서는 공정에서 발생할 수 있는 위험을 확인하여야 하며 잠재 위험확인 은 위험성 평가에서의 첫 번째 단계이고 더 나은 잠재위험의 정량화 (Quantitative)와 분석의 기초를 위해 이론적으로 발생할 수 있는 모든 위험물과 공정 사고에 대한 정의를 포함하고 있다.

3.1.1 확인할 위험물질의 형태

- 정제, 화학 및 석유화학제품의 제조공장, 혼합설비 그리고 분배 terminal내에서 사용되는 석유와 석유화학원료 및 생산물에 포함된 가연성 및 연소성 액체

- 저장시설과 공정에서 주로 많이 사용되는 propane, butane, ethylene등과 같이 액화된 가연성 기체

Table 1. Top 20 chemical ranked by the number of serious

NO	Chemical	NO. of accident	NO. of Serious accident	MF	LOC	React	Flame	NO. of Injury Event	NO. of Injuries	NO. of Death Event	NO. of Deaths	Economic loss (Unit: 1000₩)
				(material factor)	Rate (Nh)	Rate (Nr)	Rate (Nf)					
				NFPA /USCG Classification								
1	Liquefied Petroleum Gas	1132	341	21	0	0	4	613	1753	148	254	13,575,400
2	Liquefied Natural Gas	698	79	21	1	0	4	98	373	45	99	677,200
3	Butane	162	74	21	1	0	4	106	295	27	30	2,241,400
4	Sulfur	3	1	4	3	0	1	1	7	1	16	115,000
5	Ammonia	33	5	4	3	0	1	5	25	5	10	106,700
6	Methane	6	3	21	1	0	4	5	13	2	7	-
7	Light oil	17	6	21	2	0	4	4	10	5	7	307,000
8	toluene	6	4	16	2	0	3	3	5	3	7	2,180,000
9	Hydro chloric acid	6	3	1	3	0	0	2	5	2	5	-
10	Hydrogen	7	4	21	0	0	4	6	11	3	3	55,000,000
11	Gasoline	4	3	16	3	3	0	5	11	2	2	548,430
12	Acetone	3	1	16	1	0	3	1	1	1	2	47,100
13	Acetic acid	2	2	14	2	2	1	2	37	1	1	-
14	Acetylene	4	2	40	1	3	4	2	4	1	1	1,500
15	Nitrobenzene	1	1	24	3	0	2	1	3	1	1	13,200
16	Carbon monoxide	1	1	16	2	4	0	1	2	1	1	-
17	Phosphoric acid	1	1	1	2	0	0	1	2	1	1	-
18	Sulfuric acid1	1	24	4	2	0	1	28	-	1	-	1.000
19	Phenol	2	1	4	3	0	2	1	1	1	1	81,420
20	Nitric acid	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	-
Subtotal		2090	534					859	2585	251	450	74,894,350
Other Event		15	3					6	15	1	1	50,232,200
Total		2105	537					865	2600	252	451	125,126,550

Table 2. Tennessee university hazard substances classification(Priority scoring target substances 1-30)

No.	Substances	NFPA				Flash point & Ignition point	Environment effect
		Nh	Nr	Nf	MF		
1	Chromium	1	0	3	16	I.L : 0.23 g/l	FT : 14300 µg/l 96hr LC50 I.T : 2000 µg/l 0-5 hr S.T : :3000-5000 µg/l NR hr
2	Arsenic	2	0	0	1		FT : 9900 µg/l 96hr LC50 I.T : 2319 µg/l 96 hr LC50 S.T : 2500 µg/l NR hr EC50 PT : 2600 µg/l 32week EC50
3	Lead	1	0	0	1		FT : 2200 µg/l 96hr LC50 I.T : 25 µg/l 29-51 hr S.T : 950 µg/l 6 hr EC50 PT : 9-45 µg/l 3-9 hr B.A : 3670 µg/l 4 hr BCF 728 µg/l
.
.
.
28	Naphthalene	2	0	2	10	EP : 79°C I.L : 0.9-5.9% A.I.T : 526°C	FT : 2600 µg/l 96hr LC50 I.T : 2194 µg/l 48hr EC50 S.T : ≤695 µg/l 11-14hr B.A : 10844 µg/l 24hr BCF 0.45 µg/l
29	Cobalt Compounds	2	0	3	16		FT : 112.5 µg/l 30hr LC50 I.T : 10 µg/l 14week S.T : 58900 µg/l 0.5 hr LC50 B.A : 4000M 24week BCF 1E-8.4 M
30	Phenol	4	0	2	10	FP : 79°C I.L : 1.8-8.6% A.I.T : 715°C	FT : 1.750 µg/l 96hr LC50 I.T : 10000 µg/l 48hr EC50 S.T : ≤7800 µg/l 11-14hr PT : 10000 µg/l 28yr B.A : 14500 µg/l 1-28hr BCF 2.5 µg/l

※FT: Fish toxic, I.T: Invertebrate toxic, S.T: Sea Weeds Toxic, I.L: Ignition Limit, A.I.T: Auto Ignition Temp, B.A: Biologically Accumulation, P.T: Plant Toxic, F.P: Flash Point, I.P: Ignition Point, EC: Environment Concentration, LC: Lethal Concentration. BCF: Bioconcentration Factor.

- 공정 내에서 주로 많이 사용되는 가연성 기체
- 저장소 내 주로 많이 저장되는 chorine, acrylonitrile, anhydrous, ammonia, pesticides, vinyl chloride등과 같은 독성물질
- 저장시설과 공정 내에서 주로 많이 사용되는 organic peroxide, oxides of ethylene, oxide of propylene 등과 같은 반응성 물질
- 창고, 콘테이너, 적장, 화물운송창고에서 주로 많이 다루는 연소성 고체

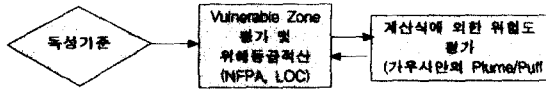
3.2 확인할 잠재위험사고의 형태

- 주로 가연성액체와 기체를 다루거나 또는 저장하

- 는 저장시설과 처리시설로부터의 화재
- 주요한 LPG 저장, 처리시설의 경우의 폭발(BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- 저장과 처리과정에서 액화된 가연성기체의 유출로 인한 폭발(UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion)을 포함
- 용기로부터의 유출에 의한 독성기체의 방출
- 독성물질의 화재로부터 생성된 독성

4. 위해등급

4.1 독성



- 1) 기준(Nh)- NFPA
- 2) 취약 지역 추정에 이용되는 방정식
(Equations used for the estimation of vulnerable zones)

① 액체로 누출되어 공기 중으로 운반되는 양의 추정
화학물질의 누출율은 VZ(Vulnerable Zone)²⁾의 반경을 계산하기 위해 필요하다. 이것은 누출된 화학물질의 양에 의해 좌우되며 액체(in lbs/min)에서 공기중으로 즉 대기로의 방출율을 산정하기 위해 사용되어지는 방정식은 다음과 같다.

$$QR = \frac{0.106 \times (u)^{0.78} \times MW^{2/3} \times A \times VP}{R \times (T1 + 273)} \quad (1)$$

여기서 QR : 대기중 누출량(lbs/min)
MW : 분자량(g/g mole)
u : 풍속(m/s)/A : 누출된 물질의 표면적(ft²)
VP : T1온도에서의 물질의 증기압(mmHg)

R : 기체상수(82.05atm cm³/g moleK)
T1 : 화학물 저장 온도(°C)

② 취약 지역 추정

취약 지역 반경에 적용하기 위해 사용되는 방정식은 Turner's Workbook²⁾에 기초로하여 다음과 같다. 바람 방향으로 누출되는 농도는 아래 방정식에서 주어진다.:

$$C = \frac{QR}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (2)$$

여기서 C_i : 공기 중 농도, mg/m³/π : 3.141
σ_y σ_z : 수평(y), 수직(z)에서의 확산 변위
방정식은 안정된 상태에서의 농도 및 풍향에 대하여 10분에서 1시간의 방출 범위에 대해 적용한 것이다.

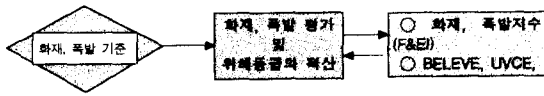
$$\sigma_y \sigma_z = \frac{QR(g/sec)}{3.141 \times u \times C}$$

$$\sigma_y \sigma_z = \frac{0.318 \times QR(g/sec)}{u \times C} \quad (3)$$

4.2 화재 · 폭발

- 1) NF : 연소성(NFPA의 위험물 판정기준)
- 2) 화재, 폭발 위험평가 및 피해예측 방법

Classification	Fish Toxic		Invertebrate Toxic		Sea weeds		
	limiting range(μg/l)						
Hazard	4	F < 10.2		I < 25		S < 69.5	
		96hr LC50		1hr EC50	48hr EC50	11~14hr	21~28hr
		weighting, high specific heat point, coloring, stench oil					
	3	10.2 ≤ F < 390		25 ≤ I < 160		69.5 ≤ S < 2100	
		96 hr LC50		48 hr EC50	48 hr EC50	1600 week EC50	96 hr EC50
		light coloring, high specific heat point oil, watersoluble compound					
	2	390 ≤ F < 4300		160 ≤ I < 2000		2100 ≤ S < 7800	
		96 hr LC50	48 hr LC50	48 hr EC50	96 hr LC50	48 hr EC50	48 hr
		non stench oil, watersoluble compound, acid and basic salt, colorless oil(65°C < high specific heat point < 149°C)					
	1	4300 ≤ F < 9900		2000 ≤ I < 8850		7800 ≤ S < 58900	
		96 hr LC50		2951hr	05 hr	6 hr EC50	NR hr
		non stench oil, colorless watersoluble oil, light oil(high specific heat point ≤ 60°C)					
0	9900 ≤ F		8850 ≤ I		58900 ≤ S		
	96 hr LD50		14 week	48 hr EC50	96 hr	0.5 day	
	water poluting, non aesthetic medicines, gas phase substances(high specific heat point ≤ 0°C), colorless odorless watersoluble substances						



◇ Vapor Cloud Explosion - Unconfined³⁾

$$W = \eta M Ec/EcTNT \quad (4)$$

$$R = Z W^{1/3} \quad (5)$$

여기서, W : TNT당량(lb)

η : 가연성 물질의 방출양(lb) 또는 수율

M : 실험에 의한 폭발량 또는 효율

(range from 0.01 to 0.1)

EC: 가연성 가스의 저발열 양(Btu/lb)

Z : 환산거리

R : 실제거리(m)

로 USCG 및 MSDS의 환경분류등급과 NFPA의 건강위해성 중 환경적인 factor를 조합하여 0-4등급의 5단계인 환경위해등급을 설정하였다. 그 주된 항목으로는 어독성, 무척추동물독성, 해조류 독성, 식물독성, 생물축적 및 기타독성으로 분류하였으며 미적인 항목도 포괄적인 개념으로 도입하였다.

5. 종합위해등급

독성, 화재·폭발, 반응성, 환경성 등을 종합하여 위해등급을 Table 4와 같이 발생확율, 잠재사망율, 잠재경제적손실 등으로 분류하여 정리하였다.

4.3 환경기준 (Ne)

2항에서 선택된 대상물질(국내 20/국의 30)을 기준으

5.1 알고리즘

사고발생의 잠재적 영향에 대한 Risk 산정식

Table 3. Environment hazardous classification(Domestic 20 substances/Tennessee 30 substances)

Classification	Plant Toxic		Biologically Accumulation		Other Toxic		
	limiting range(ug/l)						
Hazard	4	P<5.7		B<874		O<5	
		96 day	28 yr	96 day	96 hr BCF 10	9 hr	24 hr
		weighting, high specific heat point, coloring, stench oil					
	3	5.7≤P<9		874≤B<3500		5≤O<100	
		4~48 week	30hr	3 hr	30 hr	-	30 hr
		light coloring, high specific heat point oil, watersoluble compound					
	2	9≤P<45		3500≤B<5830		100≤O<250	
		NR yr	3 hr	1~14 hr BCF 8.23	32 hr	96 week LC50	48 week LC50
		non stench oil, watersoluble compound, acid and basic salt, colorless oil(65°C<high specific heat point<149°C)					
	1	45≤P<2600		5830≤B<18500		250≤O<4200	
		39 hr	-	4 hr BCF 728	-	144 hr	-
		non stench oil, colorless watersoluble oil, light oil(high specific heat point≤60°C)					
0	2600≤P		18500≤B		4200≤O		
	-	-	7hr BCF 0.3	37 day BCF 2200	13 hr	-	
	water poluting, non aesthetic medicines, gas phase substances(high specific heat point≤0°C), colorless odorless watersoluble substances						

Table 4. Scoring from three types of chemical plant accident

Type of accident	Probability of occurrence	Potential Fatality	Potential Economic Loss
Fire/Explosion	4(Pf)	3(Hf)	4(Ef)
Toxic Release	3(Ph)	4(Hh)	3(Eh)
Response	2(Pr)	2(Hr)	2(Er)
Environment	1(Pe)	1(He)	1(Ee)

Table 5. Total hazard level algorithm

Classification	NFPA			USCG & MSDS	Total
	Nr	Nf	Nh	Ne	
MAX	4	4	4	4	944
MIN	0	0	0	0	0

Table 6. Hazard extent of total hazard level

Unit category	Total hazard level	Hazard extent	Color classification
0-188	E (0)	Light	gray
189-377	D (1)	Moderate	green
378-566	C (2)	Inter Mediate	yellow
567-755	B (3)	Heavy	orange
756-944	A (4)	Severe	red

$$\begin{aligned}
 RISK &= \sum_{i=1}^4 P_i(H_i + E_i) \\
 &= [(N_f \times P_f) (N_f \times H_f + N_f \times E_f) + (N_h \times P_h)(N_h \times H_h \\
 &\quad + N_h \times E_h) + (N_r \times P_r)(N_r \times H_r + N_r \times E_r) + (N_e \times P_e) \\
 &\quad (N_e \times H_e + N_e \times E_e)] \quad (6)
 \end{aligned}$$

P_i =발생확률, H_i =치명도, E_i =경제적 손실,
 N_h =NFPA Toxicity Standard,
 N_f =NFPA Flammability Standard,
 N_r =NFPA Response Standard,
 N_e =MSDS Environment Standard.

Table 5는 식 (6)에 의해 N_r , N_f , N_h , N_e 의 종합점수를 표시한 것이다.

Table 6은 종합위해등급의 범위를 나타낸 것으로 Fig. 2의 정규 분포곡선과 식 6에서 구한 Risk값의 최소값 0, 최대값 944의 영역을 Normal-dividing하여 분류한 것이다.

Target material number(density)

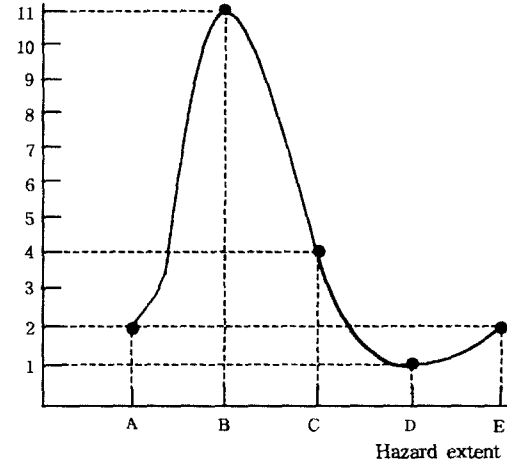


Fig. 2. Distribution of target substances.

Table 7. Selection substances application by total hazard level

Material	Nh	Nr	Nf	Ne	Total Score
① Ammonia	3	0	0	3	207 (D)
② Hydrogen Cyanide	4	2	4	4	848 (A)
③ Chlorine	4	0	0	4	384 (C)

5.2 종합위해등급에 의한 대상물질 적용

Ammonia, Hydrogen cyanide, Chlorine의 물질은 독성, 반응성, 화재·폭발, 환경에 따른 종합위해등급을 실 예로 Table 7에 표시하였다. 그 결과 Ammonia는 207, Hydrogen Cyanide는 848, Chlorine은 384로 나타내었다.

5.3 대상물질의 분포도

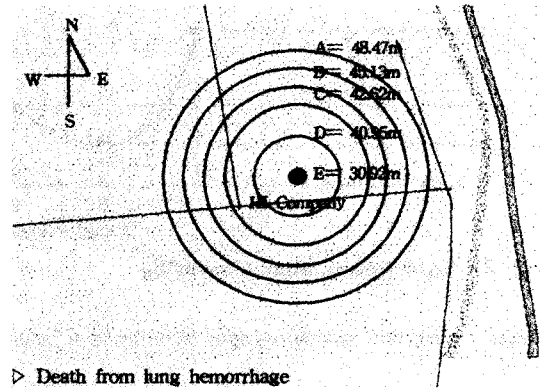
종합위해등급에 의한 위험정도를 설정하기 위하여 국내 대상물질을 기준으로 위험등급에 따른 물질의 개수를 Graphing한 것이 다음의 Fig. 2이며 나타난 곡선은 거의 정규분포의 곡선임을 나타내고 있다.

6. 종합 위해등급에 의한 Risk contour 작성

CPQRA(Chemical Process Quantitative Risk Assessment)를 이용하여 강도산정을 하기 위하여 Cyclohexane을 예를 들어 Table 8에 표시하였다.

Table 8. Input Data of Application Target Substance

Explosion accident by leaking from a reactor					
Substance	Storage Weight (kg)	MW	BP (°C)	VP (mmHg)	Weather Stability
Cyclohexane	50000	84.18	81	95 (20°C)	D



▷ Death from lung hemorrhage

Fig. 3. Risk contour to UVCE.

6.1 CPQRA를 이용한 강도산정

식 TNT당량(W) =

$$\frac{nME_c}{E_{CTNT}} = \frac{0.05 \times 50000 \times 18700}{2000} = 51486\text{lb}$$

식 $R=ZW^{1/3}$, $Pr=a+blnC$ 을 이용하여 치사율(혹은 파괴율)에 따른 과압력과 피해거리를 계산한 결과는 Fig. 3 및 Table 9와 같다. 100%의 치사율은 반경 30.92 m, 과압력 43 psi의 값으로 22명이 사망할 수 있다.

6.2 VZ(Vulnerable zone) 모델을 이용한 강도 산정(Toxic release)

VZ 모델을 이용하여 Phenol의 확산강도 산정을 다음과 같이 계산하였다. 그 결과, 액체누출 후 공기로 운반되는 양은 0.54 lbs/min으로 이에 피해 영향범위는 반경 327.154 m로 나타났다.

Table 9. Risk Scale to UVCE

Total Hazard Level	C		
	Fatality rate (%)	Damage distance(m)	Overpressure (Psi)
20	A=48.47	18.6	2
40	B=45.13	20.2	2
60	C=42.62	21.8	2
80	D=40.95	23.6	13
100	E=30.92	43.0	22

* Population Density : 7.115×10^{-3} , Total presumption death : 41 persons

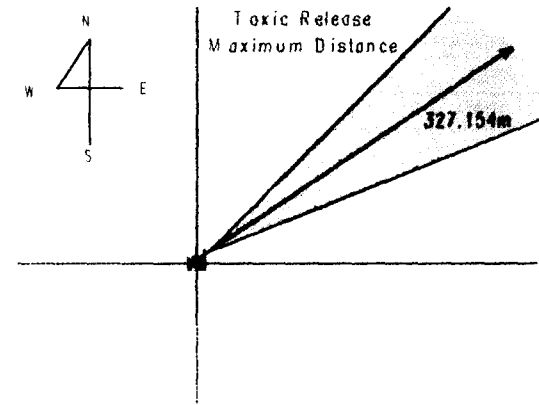


Fig. 4. Risk effect distance to VZ model.

◇ 액체누출 후 공기로 운반되는 양

QR=

$$\frac{0.106 \times (U)^{0.78} \times MW^{2/3} \times A \times VP}{R \times (T_1 + 273)} = 0.54 \text{ kg/min}$$

◇ 영향범위

$\sigma_y \sigma_z =$

$$\frac{0.106 \times (U)^{0.78} \times MW^{2/3} \times A \times VP}{R \times (T_1 + 273)} = 327.154 \text{ kg/min}$$

6.3 인구밀도 분포에 따른 위험등급 산정

우리나라 각 시, 도의 인구 밀도분포에 따른 사고 발생률에 대한 위험율을 Table 11에 표시하였다. 그 결

Table 10. Input data of Applied target substances

Total Hazard Level	Material	Storage (ton)	Wind Speed (m/sec)(U)	Wind Direction	Vapor Pressure (mmHg)(VP)	Molecular Weight (MW)	Effect Distance (fish toxic LC50)
C	Phenol	10	5	SW	0.35	94.12	0.00175 mg/m ³

Table 10. Risk rate for region population density

Region	Population density (person/)	Damage Type	Frequency (per year)	Individual Risk rate	Total Risk rate
Seoul	1.66×10^{-2}	BLEVE	1×10^{-6}	1.66×10^{-8}	3.486×10^{-7}
		UVCE	1×10^{-5}	1.66×10^{-7}	
		VZ	1×10^{-5}	1.66×10^{-7}	
Inchon	2.62×10^{-3}	BLEVE	1×10^{-6}	2.62×10^{-9}	1.155×10^{-7}
		UVCE	1×10^{-5}	2.62×10^{-8}	
		VZ	1×10^{-5}	2.62×10^{-8}	
Kyonggi	8.90×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	8.90×10^{-10}	1.869×10^{-8}
		UVCE	1×10^{-5}	8.90×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	8.90×10^{-9}	
Kangwon	9.01×10^{-5}	BLEVE	1×10^{-6}	9.01×10^{-11}	1.892×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	9.01×10^{-10}	
		VZ	1×10^{-5}	9.01×10^{-10}	
Chungnam	2.14×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	2.14×10^{-10}	4.494×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	2.14×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	2.14×10^{-9}	
Taejon	2.59×10^{-3}	BLEVE	1×10^{-6}	2.59×10^{-9}	5.439×10^{-8}
		UVCE	1×10^{-5}	2.59×10^{-8}	
		VZ	1×10^{-5}	2.59×10^{-8}	
Chungbuk	1.98×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	1.98×10^{-10}	4.158×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	1.98×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	1.98×10^{-9}	
Kyongbuk	1.33×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	1.33×10^{-10}	2.793×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	1.33×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	1.33×10^{-9}	
Taegu	3.11×10^{-3}	BLEVE	1×10^{-6}	3.11×10^{-9}	6.531×10^{-8}
		UVCE	1×10^{-5}	3.11×10^{-8}	
		VZ	1×10^{-5}	3.11×10^{-8}	
Kwangju	2.69×10^{-3}	BLEVE	1×10^{-6}	2.69×10^{-9}	5.649×10^{-8}
		UVCE	1×10^{-5}	2.69×10^{-8}	
		VZ	1×10^{-5}	2.69×10^{-8}	
Chonnam	1.71×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	1.71×10^{-10}	3.591×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	1.71×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	1.71×10^{-9}	
Kyongnam	2.87×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	2.87×10^{-10}	6.027×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	2.87×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	2.87×10^{-9}	
Pusan	5.07×10^{-3}	BLEVE	1×10^{-6}	5.07×10^{-9}	1.065×10^{-7}
		UVCE	1×10^{-5}	5.07×10^{-8}	
		VZ	1×10^{-5}	5.07×10^{-8}	
Chonbuk	2.39×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	2.39×10^{-10}	5.019×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	2.39×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	2.39×10^{-9}	
Cheju	2.88×10^{-4}	BLEVE	1×10^{-6}	2.88×10^{-10}	6.048×10^{-9}
		UVCE	1×10^{-5}	2.88×10^{-9}	
		VZ	1×10^{-5}	2.88×10^{-9}	

과, 서울, 인천, 경기의 순으로 각각 3.486×10^{-7} , 1.155×10^{-7} , 1.869×10^{-8} 순으로 높은 위험율을 나타내었다.

7. 결 론

유해화학물질 누출사고시의 화재·폭발, 독성, 환경 등의 종합위해등급을 설정하여 피해지역을 예측하고 신속한 대응 조치를 취할 수 있는 Tool를 다음과 같이 제시하였다.

1. 화재·폭발, 독성, 환경성 등에 의한 종합위해등급을 설정하여 그 지역의 잠재위험성을 평가하여 피해 예측이 가능하다.

2. 위험지역공간에서의 인구밀도에 따른 위험정도 구분은 Event Tree Analysis를 기초로한 BLEVE, UVCE, VZ의 사고발생 빈도(Frequency)를 적용한 결과 서울, 仁川, 부산 순으로 인구밀도가 높을수록 위험정도가 높음을 알 수 있었다.

3. 유해화학물질 유출시의 신속한 대응 및 조치 기타 화재·폭발의 취약지역관리 등에도 활용할 수 있다.

참고문헌

1. U. S Environmental Protection Agency, and The university of Tennessee center for clean products and clean Technologies, "A Method for Ranking and scoring chemicals by potential Human Health and Environmental Impacts", (1994)
2. U. S. Environmental Protection Agency, "Technical Guidance for Hazard Analysis", 1987, Appendix G1~G7
3. Gregory G. Noll Michael s. Hildebrand James G. Yvorra, "Hazardous Materials Managing the Incident", Fire Protection Publications Oklahoma State University(1996)
4. Gregory G. Noll Michael s. Hildebrand James G. Yvorra, "Hazardous Materials Managing the Incident", Fire Protection Publications Oklahoma State University, pp3-50(1996)
5. Environmental Protection Agency, "Guidance for Conducting Risk Assessments and Related Risk Activities for the DOE-ORO Environmental Management Program", EPA (1999)
6. National Fire Protection Association, "Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids, Fire hazard Properties", NFPA, 1997 : NFC 325.
7. National Fire Protection Association, "Identification of the Fire Hazards of Materials", NFPA, 1997 : NFC 70
8. Environmental Protection Agency, "Eco-efficiency (Business Link to Sustainable Development)", EPA, pp49-51(1998)
9. Environmental Protection Agency, "Caltex A Multimedia Total Exposure Model for Hazardous - Waste Sites Spreadsheet User,s Guide", EPA, pp13-18(1994)