

화학공정 주변지역에 미치는 위험성(사회적 위험성 및 개인적 위험성) 평가방법에 관한 비교 연구

A Comparative Study on the Risk(Individual and Societal) Assessment for Surrounding Areas of Chemical Processes

김 윤 화*·엄 성 인*·고 재 욱*

Yun-Hwa Kim·Sung-In Um·Jae-Wook Ko

ABSTRACT

Two methods of the numerical method of CPQRA(Chemical Process Quantitative Risk Analysis) and the manual method of IAEA(International Atomic Energy Agency) were used to estimate the individual risk and societal risk around the chemical plant. Where, the CPQRA is introduced to verify the theoretical background of the manual of international atomic energy agency.

The Gaussian plume model which has a weather stability class D with velocity of 5m/s was applied to calculate dispersion of hazard material. Also, 8-point method was employed to the effects of accidents for wind distribution. Furthermore, historical record, FTA(Fault Tree Analysis) and ETA(Event Tree Analysis) were used to estimate the probability or frequency of accidents.

Eventually, the individual risk shows isorisk contour and the societal risk shows F-N curve around hazard facility, especially in chemical plants. Calculated results, which both individual and societal risk, by using IAEA manual show similar results to those of calculation by numerical method of CPQRA.

1. 서 론

현대의 산업시설이 대량생산 체제로 변화되면서 공정내에서 취급·제조되는 물질의 양 또한 대량화 되어가고 있다. 이에 따라 사고 발생할 경우 과거

보다 더 큰 인명 피해 및 경제적 손실을 가져오고 있으며, 특히 화학 플랜트의 경우 인도 Bhopal의 MIC 저장탱크의 누출사고, Mexico city의 LPG 누출로 인한 화재사고 및 미국 Houston의 Polypylene 반응기 폭발 사고 등과 같이 폭발성·유독

* 광운대학교 화학공학과

성 물질의 제조와 취급에 의한 사고 발생시 인근 주민에게 미치는 영향은 대단히 크고 경우에 따라서는 사고 후 몇 십년에 걸쳐 그 주변사회에 영향을 미치게 된다¹⁾. 그러나 사고 발생 후 야기되는 커다란 경제적-인적 손실에 비추어 볼 때 현재까지 적절한 위험성 평가 기법의 개발이 이루어지고 있지 않으며, 기존의 위험성 평가 기법조차 적절히 사용하고 있지 못한 실정이다.

현재 우리 나라의 경우 산업 안전 보건법, 가스 안전 관련법, 공장 입지법 등에서 안전 대책에 대하여 시행을 하고 있지만 화학공장에서 발생하는 예기치 않은 사고로 주변 사회에 미치는 피해를 방지하거나 피해의 범위를 축소하기 위한 제도적인 장치가 아직 미흡한 실정이고 안전 관련법들도 최소한의 필요한 조치사항만을 규정하고 있을 뿐 공학적인 접근에 의한 구체적인 적용 방법이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 화학공장이 내재하고 있는 화재·폭발 및 독극물 누출에 의한 잠재적 위험성을 정량화하여 사고 발생시 공장 내부의 근로자는 물론 공장 외부의 지역 주민들에게 미칠 수 있는 다양한 유형의 위험성 평가를 수행하여 잠재 위험의 예측과 선택, 안전 대책의 강구를 위한 공학적 위험성 평가 기법에 대한 연구가 매우 시급하다고 생각된다.

본 연구에서는 CPQRA(Cheical Process Quantitative Risk Analysis)방법과 IAEA manual의 위험성 분류와 우선 순위화 방법을 이용하여 독극물(Cl_2) 유출에 의한 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 산정하여 비교·검토하고자 하였다.

먼저 CPQRA 방법을 이용한 계산 과정상에 있어서 고려한 점은 모든 사고발생 시나리오 각각의 경우에 대하여 피해거리를 산정하고자 하였으며, 그에 따른 피해면적을 계산하고자 하였다. 이때 사고발생시 100% 사망한다는 가정하에 피해거리와 피해면적을 계산하였고, 독극물의 유출에 의한 확산에 대해서는 Gaussian 모델을 이용하였으며, 사고발생시 바람의 방향에 따른 독극물의 확산과 분포는 8-point(SW, W, NW, N, NE, E, SE, S)방법을 이용하여 계산하고자 하였다^{2,3)}.

IAEA manual 방법을 이용한 계산 과정은 취급 물질과 취급량에 의하여 manual에서 정하는 참고 번호와 위험성 분류를 하였으며, 그에 따른 피해거리와 피해면적을 산출하고자 하였으며, 궁극적

으로 화학공정의 주변에 거주하는 주민에게 미칠 수 있는 피해를 사망자 수로 계산하고자 하였다.

결과적으로 CPQRA 방법을 이용한 개인적 위험성 결과치는 공정 시설물 주변에 대한 개인적 위험도(Individual Risk contour) 형식으로 표현하여 각각의 사고 시나리오에 대한 피해거리와 각각의 사고 발생 확률을 표현하였으며 사회적 위험성은 F-N곡선(Frequency-Number curve) 형식으로 표현하여 각각의 사고 시나리오에 대한 사망자 수와 그에 따른 사고 발생 확률을 나타내고자 하였다. 그리고 IAEA manual을 이용한 개인적 위험성과 사회적 위험성 결과치는 사고로 인하여 발생할 수 있는 피해거리와 그에 따른 사망자 수 산출로 나타내고자 하였다.

2. CPQRA(Cheical Process Quantitative Risk Analysis)에 의한 방법

2.1 개인적 위험성(Individual risk)

개인적 위험성이란 사고 발생으로 인하여 위험 원 근처에 있는 사람에게 미치는 영향을 말하며, 각각의 사고결과(consequence)분석과 사고 발생 확률(probability) 분석을 통해 얻은 자료를 이용하여 개인에게 미치는 사고 발생 확률이 같은 지점을 연결하여 등위험도 곡선(isonisk contour) 형태로 표현하게 된다.

개인적 위험성의 계산 절차는 일반적인 접근 방식과 간략화시킨 접근 방식이 있으나 본 연구에서는 간략화시킨 방법을 이용하여 위험성 평가를 수행하였으며, 사고 지점으로부터 바람 분포가 일정하여 모든 방향으로 사고가 일어날 수 있다고 가정하여 오직 하나의 풍속과 기후 안정 등급(weather stability class)만을 고려하여 계산하며, 화재나 폭발의 경우는 점화원(ignition source)이 균일하게 분포되어 있다고 가정하며, 대피나 피난 같은 완화계수(mitigation factor)는 고려하지 않았다.

계산과정은 먼저 가장 큰 피해반경을 가져올 수 있는 경우의 사고를 선택하여 피해지역과 같은 반경으로 원을 그린 후 그 중에서 풍향에 영향을 받을 수 있는 지역을 결정한다. 따라서 특정지역, 특정 방향에서의 사고 빈도는 다음의 식으로 계산한다^{2,5,6)}.

$$f_{i,d} = f_i (\theta_i / 360) \dots\dots\dots (1)$$

다음 단계는 식(1)에서 얻은 개인적 위험성 수치(강도와 빈도)를 도면상에 도식한 후 다음으로 큰 사고강도를 갖는 경우에 대하여 식(2)를 이용하여 개인적 위험성을 계산하게 된다.

$$IRC_i = f_i (\text{or } f_{i,d}) + IRC_{i-1} \dots\dots\dots (2)$$

이러한 계산 절차는 모든 위험이 산정될 때까지 계속 반복하여 수행한다.

2.2 사회적 위험성(Societal risk)

사회적 위험성은 사고 발생으로 인한 사망자 수와 사고 발생 확률을 표현한 위험성이라 할 수 있다. 즉, 사고 발생으로 인하여 피해를 입을 수 있는 사람수로 정의하며, 일반적인 표현 방법은 사고로 인한 사망자 수와 사고 발생 확률로 F-N (frequency vs. number of fatality) 곡선 형태로 표현하게 된다. 사망자 수의 계산은 개인적 위험성에서 얻은 결과에 위험시설 주변 인구에 대한 자료(인구밀도, 인구 분포형태 등)를 도입하여 계산하게 된다.

사회적 위험성의 산정은 개인적 위험성과 같이 기후조건, 풍향, 점화원 종류, 인구형태에 따라 세분화된 계산과정이 필요하나, 현실적으로는 실제 조건에 가장 근접한 값을 갖는 대표적인 기후조건, 풍향 등을 이용하여 계산하게 된다.

본 연구에서는 간략화시킨 접근방법을 이용하여 사회적 위험성을 계산하였으며, 관계식은 식(3)과 같다^{2,5,6}.

$$N_i = P_i \times P_{f,i} \dots\dots\dots (3)$$

모든 사고가 발생할 경우에 대하여 피해를 입을 수 있는 사람 수는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$F_N = \sum F_i \text{ for all incident outcome case } i \text{ for which } N_i \geq N \dots\dots\dots (4)$$

3. IAEA(International Atomic Energy Agency) Manual에 의한 방법

IAEA manual은 중대 사고에 대한 위험성 분류와 우선순위화를 위한 지침서로서 위험물질을 취급하는 시설, 물질의 형태와 특성 그리고 취급량으로부터 각각의 표를 이용하여 적은 시간과 인력으로 치사율 100%가 되는 사고의 강도와 사고 발생

확률을 간단하게 산정할 수 있다⁷⁾.

3.1 Classification of activity

평가대상이 되는 지역을 결정하고, 설비의 이름, 위치, 형태, 생산물, 저장상태 등에 대하여 Table 1, 2, 3을 이용하여 참고번호를 확정한다.

Table 1 Checklist

Activity		Most important substance	Reference numbers
Specific chemicals	Fertilizers	Ammonia	31, 36
	Synthetic resin	Ethylene oxides	30
		Chlorine	32
		Phosgene	33
		Formaldehyde	32
		Vinylchloride	7
	Plastics/synthetics	Acrylonitrile	18, 21
		Chlorine	32

Table 2 Classification of substances by effect categories

Ref. No.	Type of substance	Description of substance	Activity	
16	Toxic liquid	Low toxicity	Storage with tank-pit	
17			Other	
22		High toxicity	Storage with tank-pit	
23			Road/Rail	
24			Water	
25	Other			
30	Toxic gas	Liquified by pressure : low toxicity		
32				high toxicity
34				extreme toxicity
35		Liquified by cooling : low toxicity		
37				high toxicity
39				extreme toxicity

Table 3 List of substance

Reference number	Type of substance	Substances(example)
22, 25	Toxic liquid high	Hydrogen cyanide
32, 37, 41, 42		Nitrogen dioxide
		Sulphur trioxide
		Tert-butylamine
		Boron trichloride
	Chlorine	
Toxic gas high	Formaldehyde	
	Hydrogen sulphide	
	Nitrogen monoxide	

3.2 Estimation of lethal distance

참고번호와 해당설비에서 취급하는 물질의 양을 비교하여 Table 4에서 effect category를 확정후 Table 5을 이용하여 치사거리의 범위 및 치사면적을 산정한다.

Table 4 Classification of substances by effect categories

Ref. No.	Quantity (ton)						
	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000	>10000
16	-	-	-	AII	AII	BII	CIII
17	-	AII	AII	BII	CII	CII	CII
18	-	AIII	BIII	DIII	EIII	FIII	FIII
19	CIII	DIII	X	X	X	X	X
20	DIII	EIII	FIII	X	X	X	X
30	AII	AI	BII	BI	CIII	CII	X
31	BII	CII	DIII	EIII	FIII	FIII	X
32	EIII	EIII	FIII	FIII	GIII	X	X
33	FIII	GIII	GIII	GIII	X	X	X
34	GIII	FIII	HIII	X	X	X	X

Table 5 Effect categories : maximum distance and area of effect

Effect distance(m) category		Effect area category(ha)		
		I	II	III
A	0-25	0.2	0.1	0.02
B	25-50	0.8	0.4	0.1
C	50-100	3	1.5	0.3
D	100-200	12	6	1
E	200-500	80	40	8
F	500-1000	-	-	30
G	1000-3000	-	-	300
H	3000-10000	-	-	1000

3.3 Calculation of Fatalities

Table 5를 통하여 얻은 최소 피해거리와 최대 피해거리와 식(5)를 이용하여 사고 결과를 얻을 수 있으며, 각각의 보정계수는 Table 7과 8을 이용하여 구할 수 있다⁷⁾. 여기서 δ 는 피해지역의 인구 밀도를 나타낸다.

$$C_{a.s} = A \times \delta \times f_A \times f_m \dots\dots\dots (5)$$

Table 6 Distribution factor(f_A)

Effect area category	Populated fraction(%) of the circular area				
	100%	50%	20%	10%	5%
I	1	0.5	0.2	0.1	0.05
II	1	1	0.4	0.2	0.1
III	1	1	1	1	1

Table 7 Correction factor(f_m) for mitigation

Substances(References numbers)	Factor
Flammables (1-12)	1
Flammables (13)	0.1
Explosives (14, 15)	1
Toxic liquid (16-29, 43-46)	0.05
Toxic gas (30-34, 40-42)	0.1
Toxic gas (35-39)	0.15

3.4 Estimation of probability

사고 발생 확률 또는 빈도는 식(6)를 이용하여 계산할 수 있으며, 평균 확률값 $N^*_{i.s}$ 와 각각의 보정계수는 Table 8과 9, 10, 11 그리고 12를 통하여 얻을 수 있다^{7,8)}.

$$N_{i.s} = N^*_{i.s} + n_1 + n_f + n_0 + n_p \dots\dots\dots (6)$$

Table 8 Average probability number($N^*_{i.s}$) for fixed installations

Substances(Reference numbers)	Activity	
	storage	processing plant
Flammable liquid (1-3)	8	7
Flammable liquid (4-6)	7	6
Flammable gas (7)	6	5
Flammable gas (9)	7	6
Flammable gas (10-11)	6	-
Flammable gas (13)	4	-
Explosive (14, 15)	7	6
Toxic liquid (16-29)	5	4
Toxic gas (30-34)	6	5
Toxic gas (35-39)	6	-
Toxic gas (42)	5	4
Combustion products (43-46)	3	-

Table 9 Probability number correction parameter(n_2) for loading/unloading operations frequency

Frequency of loading/unloading(yr^{-1})	Parameter
1-10	+0.5
10-50	0
50-200	-1
200-500	-1.5
500-2000	-2

Table 10 Probability number correction parameter(n_f) for flammables

Substance (Reference number)	Safety measures-number of cylinders	Parameter
Flammable gas(7, 13)	Sprinkler system	+0.5
Flammable gas(10)	Double containment	+1
Flammable gas(13)	Fire wall	+1
	Sprinkler system	+0.5
	5-50 stored cylinders	+1
	50-500 stored cylinders	0
	>500 stored cylinders	-1

Table 11 Probability number correction parameter(n_o) for organizational safety

Above average industry practice	+0.5
Average industry practice	0
Below average industry practice	-0.5
Poor industry practice	-1
Limited to non-existence organigational safety	-1.5

Table 12 Probability number correction parameter(n_p) for wind direction towards populated area(s) in the affected zone

Effect area category	Part of the area(%) where people are living				
	100%	50%	20%	10%	5%
I	0	0	0	0	0
II	0	+0.5	+0.5	+0.5	+0.5
III	0	+0.5	+0.5	+1	+1.5

4. Case Study

클로린(Cl_2)의 적재 작업시 시설물의 주변환경에 대한 개인적 위험성 및 사회적 위험성 평가를 앞서 제시한 CPQRA와 IAEA manual 방법을 적용하여 산정하였다. 발생가능한 사고들(incident)은 3가지 형태이며, CCPS(Center for Chemical Process Safety)의 강도분석 모델을 이용하여 산정

Table 13 Distance at which chlorine concentration reaches LC_{50}

Incident	Description	Duration (min)	Chlorine LC_{50} (ppm)	Downwind distance at which concentration = LC_{50} (m)
1	Liquid leak	10	430	230
2	Vapor leak	10	430	64
3	Relief valve discharge	60	175	360

한 각각의 사고에 대한 결과는 Table 13과 같다. 계산과정에 있어서 풍속은 4m/s, 기후 안정 등급은 D, 그리고 바람의 분포는 일정하다고 가정하였다(8,9).

사고 1, 2, 3에 대한 발생 원인과 사고 발생 확률 모델은 Table 14에 제시하였다. 계산과정에 있어서 사고 1과 2는 경험적 자료를 이용하였으며, 사고 3의 경우 충분한 자료 부족으로 FTA와 ETA를 이용하여 사고에 대한 빈도를 계산하였다.

Table 14 Estimated failure frequency for chlorine system components

Failure description	Failure frequency average service(event per year)
Valve leak	1×10^{-5}
Hose leak	5×10^{-4}
Impact failure of pipe	1×10^{-5}
Relief valve leak at normal operating pressure	1×10^{-4}

따라서 각각의 사고에 대한 총괄 사고발생 또는 빈도는 Table 14의 결함 요소들의 결함 빈도 합계와 식(7)을 이용하여 구할 수 있다.

$$F_i = \sum_{j=1}^n f_{c_j} \dots \dots \dots (7)$$

따라서 사고 1의 경우 $F_1 = 5.8 \times 10^{-4}/\text{year}$ 가 되고, 사고 2의 경우에 있어서는 $F_2 = 6.6 \times 10^{-4}/\text{year}$ 가 된다. 그러나 사고 3의 경우 경험적 과거 자료가 없어서 FTA와 ETA를 이용하여 사고 빈도를 계산하였다. 이 경우 사고 3의 결과는 $F_3 = 3 \times 10^{-6}/\text{year}$ 가 된다.

4.1 CPQRA에 의한 방법

4.1.1 개인적 위험성

사고발생 확률, 피해 범위, 바람의 분포 등을 이용하여 개인적 위험성을 계산하게 된다. 이 경우에는 $F_i = f_i$ 이고, 앞에서의 가정에 따라 방향요소(Direction Factor) 즉, 사고 i의 피해각도 $\theta = 15^\circ$ 이므로 식(1)로부터 $f_{3,d} = 1.2 \times 10^{-7} \text{yr}^{-1}$ 을 구하였다. 다음 단계는 식(2)를 이용하여 피해거리를 반경으로 하는 위험 등고선(isorisk contour)을 그린다. 사고 3이 가장 큰 피해 반경을 가지므로 $IRC_{-1} = 0$, 따라서 $IRC_3 = f_{3,d} = 1.2 \times 10^{-7} \text{yr}^{-1}$ 이 된다. 두번째로 큰 피해 반경을 갖는 사고 1에 대해 개인적 위험성을 구해 보면 $f_{1,d} = 2.4 \times 10^{-5} \text{yr}^{-1}$ 을

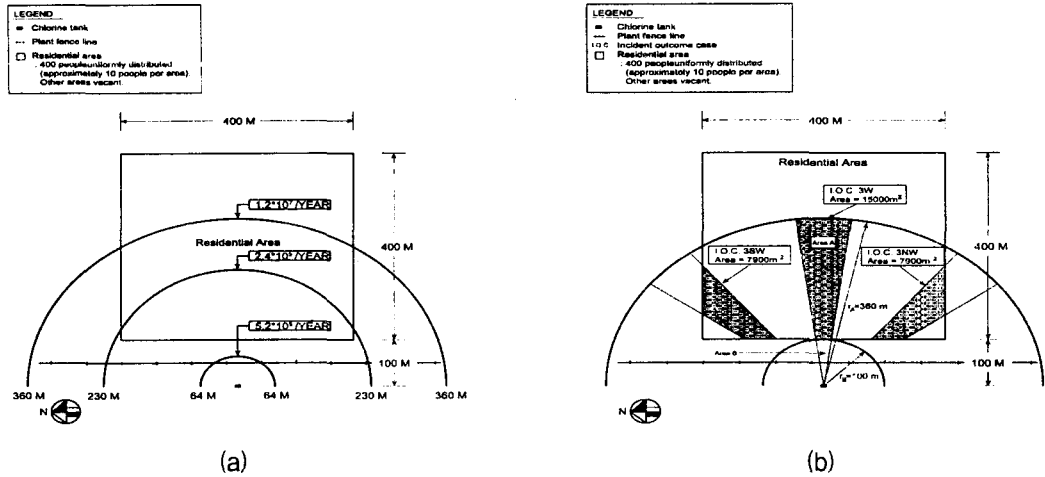


Fig. 1 (a) Individual risk contours around chlorine loading facility
(b) Effect zones for incident No. 3

구할 수 있다. 따라서 $IRC_1 = f_{1,d} + IRC_3 = 2.4 \times 10^{-5} + 1.2 \times 10^{-7} = 2.4 \times 10^{-5} \text{ yr}^{-1}$ 이 된다. 사고 2의 경우 $f_{2,d} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ yr}^{-1}$ 이 되므로 $IRC_2 = f_{2,d} + IRC_1 = 2.8 \times 10^{-5} + 2.4 \times 10^{-5} = 5.2 \times 10^{-5} \text{ yr}^{-1}$ 이 된다. 그러므로 위에서 구한 자료를 이용하여 개인적 위험도(individual risk contour)를 작성하면 Fig. 1의 (a)와 같이 표현할 수 있다.

4.1.2 사회적 위험성

피해 반경이 가장 큰 사고 3의 경우 피해 거리와 Cl₂ 적재 작업 시설물 주변환경을 묘사해 보면 Fig. 1의 (b)와 같다.

시설물로부터 바람이 주거지역으로 불어올 가능성을 타진하기 위하여 바람의 분포를 8-points(N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)로 가정하였으며, 앞에서 언급했듯이 유독물질의 분산 각도를 15°로 설정하였다. 즉, 사망자를 발생시킬 수 있는 사고는 3W, 3SW, 3NW 지점임을 알 수 있다¹⁰⁾.

각각의 피해면적에 인구밀도를 곱하게 되면 사고의 피해자수를 얻을 수 있게 된다. 사고 발생 경우 3W에 대해서 피해면적(15,000m²) × 인구밀도(25명/10,000m²)로부터 38명이 피해를 입을 수 있다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 경우 피해지역 안에서의 사망확률을 100%로 가정하면 식(3)에서 $p_{fi} = 1$ 이라고 할 수 있으며 결과적으로 $N_i = P_i$ 가

되어 3W의 경우 사망자는 38명이 된다. 같은 방법으로 3SW, 3NW의 경우와 사고 1, 사고 2의 경우에 적용하면 Table 15와 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 15 Estimated number of fatalities for incident outcomes cases affecting the populated area

Incident outcome case	Frequency F(yr ⁻¹)	Estimated number of fatalities
1SW	7.3×10^{-5}	13
1W	7.3×10^{-5}	14
1NW	7.3×10^{-5}	13
3SW	3.8×10^{-7}	20
3W	3.8×10^{-7}	38
3NW	3.8×10^{-7}	20
All others	—	—

Table 15에서 알 수 있듯이 사고 2의 경우 피해 거리가 주거지역까지 미치지 않으므로 사망자를 가져오지 않는다. 이렇게 얻은 자료와 식(4)를 이용하여 누적빈도 형태로 전환하여 정리하면 Table 16과 같다.

이 결과를 사회적 위험성의 표현 형태중의 하나인 F-N곡선(발생빈도 대 사망자수)으로 그리면 Fig. 2와 같다.

Table 16 Societal risk calculation and F-N curve data

Estimated number of fatalities	Cumulative frequency of not more fatalities $F_N(\text{yr}^{-1})$	Incident outcome cases included
$N > 38$	0	None
$20 < N \leq 38$	3.8×10^{-7}	3W
$14 < N \leq 20$	1.1×10^{-6}	3W, 3SW, 3NW
$N = 14$	7.3×10^{-5}	3W, 3SW, 3NW, 1W
$N \leq 13$	2.2×10^{-4}	3W, 3SW, 3NW, 1W, 1SW, 1NW

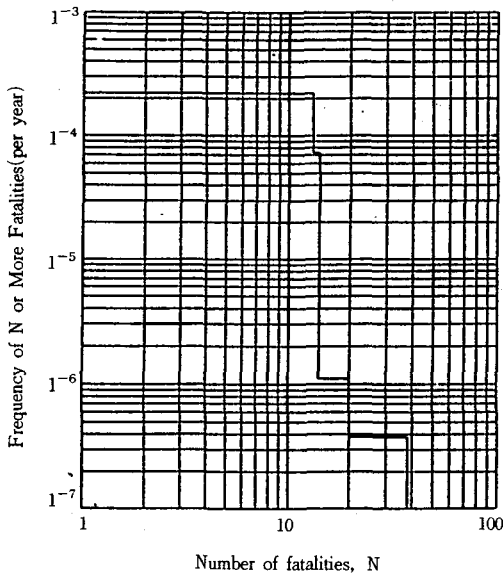


Fig. 2 Societal risk F-N curve for chlorine rail tank car loading study

4.2 IAEA manual에 의한 방법

Cl₂ gas에 대한 reference No.는 Table 1, 2, 3으로 부터 32번이 된다. 취급량 50톤에 대한 effect distance category는 Table 4로부터 EⅢ가 된다. 따라서 피해거리와 피해면적은 Table 5로부터 각각 200~500m, 8ha가 된다. 결과적으로 Cl₂ gas 누출에 의한 사망자 수는 식 5와 Table 6, 7을 이용하면 계산하면 $C_{a,s} = 8 \times 25 \times 0.1 \times 1 = 20$ 명이 된다. 그리고 사고 발생 확률은 식 6을 이용하여 계산하게 된다. 이 경우 평균 확률값 $N^*_{i,s}$ 는 6이 되면, 각각의 보정 계수는 Table 9, 10, 11 그리고 12를 이용하여 구할 수 있다. 따라서 사고 발생 확률은 $N_{i,s} = 6 - 1.5 + 0.5 = 5$ 가 되며 사고 발생 빈도는 약 10^{-5}yr^{-1} 이 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 화학공장이 내재하고 있는 잠재적 위험성에 대해 CPQRA 방법을 응용하여 계산한 결과와 IAEA가 제시한 위험성 분류와 우선순위를 위한 지침서에서 제시한 방법으로 부터 구한 값을 비교한 결과는 다음과 같다.

- 1) CPQRA 방법으로 강도 분석과 빈도 분석을 이용하여 얻은 사고 시나리오에 대한 개인적 위험성 결과는 $IRC_3 = 1.2 \times 10^{-7} / \text{year}$, $IRC_1 = 2.4 \times 10^{-5} / \text{year}$, $IRC_2 = 5.2 \times 10^{-5} / \text{year}$ 으로 나타났으며, individual risk contour 형태로 표현하면 Fig. 1과 같다.
- 2) CPQRA 방법에 의한 사회적 위험성 평가 결과는 Fig. 2에서 파악할 수 있듯이 바람에 영향을 받는 3W, 3SW 그리고 3NW 지점에서 사망자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 가장 큰 피해를 가져올 수 있는 경우는 3W 지점에서 38명의 사망자가 발생할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) IAEA manual을 이용하여 Cl₂ gas 누출 사고에 의한 사망자 수를 계산한 결과 20명으로 나타났으며, 사고 발생 확률은 $10^{-5} / \text{year}$ 로 계산되었다.
- 4) 두 방법중 CPQRA에 의한 위험성 평가방법은 비교적 정확한 사건묘사와 다양한 각도의 위험성을 예측할 수 있는 반면 정확한 평가를 위해서는 많은 시간과 계산상 많은 data를 필요로 하고, IAEA manual에 의한 위험성 평가 방법은 비교적 적은 시간과 적은 input data만으로도 위험성 평가를 신속히 수행할 수 있는 것으로 평가되었으나 다양한 각도의 위험성을 예측할 수는 없는 것으로 나타났다.

결론적으로, 화학공장이 내재하고 있는 위험성을 평가하는데 있어서 IAEA manual을 이용하여 위험성을 우선순위를 한 후 CPQRA 방법을 이용하여 위험성이 큰 공정부터 위험성을 정확히 산출하는 방법이 가장 효과적인 방법이라 사료된다.

기 호 설 명

- A = affected area
- $C_{a,s}$ = external consequence

f_A = area correction factor
 f_i = estimated frequency of occurrence of incident outcome case i (yr^{-1})
 F_i = frequency of incident outcome case i
 $f_{i,d}$ = frequency of incident outcome case i at any particular direction
 f_m = mitigation correction factor
 IRC_i = value of individual risk at the contour of the incident outcome case (yr^{-1})
 IRC_{i-1} = value of individual risk at the next further risk contour (yr^{-1})
 F_N = frequency of all incident outcome cases affecting N or more people
 n_f = correction parameter for flammables
 n_l = correction parameter for loading/unloading
 n_o = correction parameter for organizational
 n_p = correction parameter for wind direction
 N_i = number of people affected by incident outcome case i
 $N_{i,s}^*$ = average probability number for fixed installations
 $p_{f,i}$ = probability of fatality within the effect zone
 P_i = total number of people within effect zone
 δ = population density
 θ_i = angel enclosed by the effect zone for incident outcome case i

- 및 주변지역의 토지이용 안전계획, 한국과학재단, p. 138, 1993.
 2) Center for Chemical Process Process Safety, Guideline for Chemical Process Process Quantitative Risk Analysis, New York, 1989.
 3) ILO, Major Hazard Control; A Practicla Manual, 1988.
 4) CCPS, Guideline for Hazard Evaluation Procedure, AlChE, 1985.
 5) Rugby, Warks, Risk Analysis in the Process Industries, The Institution of Chemical Engineers, England, 1985.
 6) Considine, M., The Assessment of Individual and Societal Risks, SRD Report R-310, Safety and Reliability Directorate, UK Atomic Energy Authority, Warrinton England, 1984.
 7) International Atomic Energy Agency, Manual for the Classification and Prioritization of Risk from Major Accident in Process and Related Industries, 1991.
 8) 고재욱 외 2인, A Comparative Study on the Method of Consequence Estimation for Release of Toxicant Substances, 한국 산업안전학회, 9-1-13, 1994.
 9) Withers, R. M. J and F. P. Lees, The Assessment of Major Hazards; The Lethal Toxicity of Chlorine, Journal of Hazardous Material 12, pp. 231~302, 1985.
 10) Center for Chemical Process Safety, Vapor Cloud Source Dispersion Models, New York, 1989.

참 고 문 헌

- 1) 고재욱 외 2인, 석유화학단지의 위험성 평가