

A-4 유해화학물질의 위해 등급 표준화기법 개발에 관한 연구

고 재선, 김 광일
인제대학교 산업안전시스템공학부

A Study on Hazard Level Standardization for Risk Contour
in Hazardous Chemical Materials

Ko Jea-Sun, Kim Kwang-Il
Department of Industrial Safety System Engineering
Inje University

I. 서론

1-1 연구배경 및 목적

전세계적으로 화학물질의 취급 및 물동량이 많아짐에 따라 화학물질로 인한 유출사고도 대형화되고 또 그 빈도도 많아지고 있다. 특히 1984년 인도 보팔에서 일어난 MIC누출사고 이후 각국에서는 화학물질의 관리규제를 더욱 강화하고 비상사고에 대비한 많은 제도적 장치를 만들고 있다. 따라서 국내에서도 유해화학물질의 사고 대응을 위한 포괄적 방안(ERIS : Emergency Response Information)이 강구되어야 하며 이를 도출하기 위한 전 단계로서 적절한 “위해 등급표준화” 마련이 필요하다. 본 연구의 핵심내용인 유해화학물질 취급지역의 위해등급표준화에 따른 ERIS운영으로 비상시 계획지침으로 활용할 수 있고 사전에 사고발생가능지역 및 확률(사고발생가능성)이 계상된다. 또한 관리자원 투입의 최적화와 사고시 피해범위를 예측, 관련자(방재기관, 국민, 정부기관)에게 신속히 필요한 정보를 제공함으로써 피해의 극소화 및 최소화를 기할 수 있다.

1-2 연구내용 및 방법

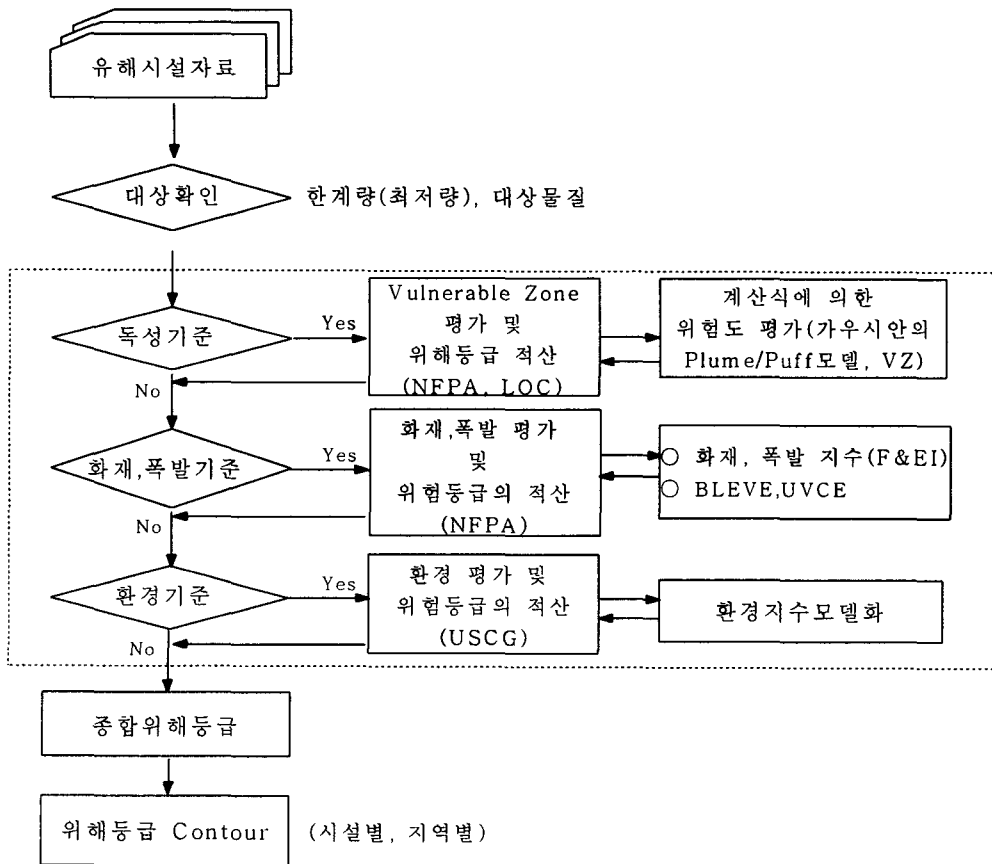


Fig. 1 위해등급의 지수화 개요

II. 위해등급을 위한 대상물질 선정

유해화학물질의 대상물질 설정은 국내의 사고사례를 중심으로 화재보험협회, 가스안전공사, 산업안전공단의 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 선택하였다.

III. 위해등급

1. 독성

1) 기준(Nh)- NFPA

2) 취약 지역 추정에 이용되는 방정식

(Equations used for the estimation of vulnerable zones)

① 액체로 누출되어 공기로 운반되는 양의 추정

화학물질의 누출율은 VZ(Vulnerable Zone)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..

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

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 Workbook에 기록되어 있으며 다음과 같다. 바람방향으로 누출되는 농도는 아랫 방정식에서 주어진다.:²⁾

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

여기서 C_i : Airborne concentration, mg/m³
 π : 3.14
 σ_y σ_z : dispersion deviation, horizontal(y), and vertical(z)

방정식은 안정된 상태에서의 농도 및 풍향에 대하여 10분에서 1시간의 방출 범위에 대해 적용한 것이다.

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

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

2. 화재·폭발

1) Nf : 연소성(NFPA의 위험물 판정기준)

2). 화재, 폭발 위험평가 및 피해예측 방법

◇ Vapor Cloud Explosion - Unconfined

$$W = \eta M E_c / E_{cTNT} \quad \dots (4)$$

$$R = Z W^{1/3}$$

여기서, W : equivalent mass of TNT(lb)
 7 : mass of flammable material release(lb)
 M : empirical explosion yield or efficiency
 (range from 0.01 to 0.1)
 Ec: lower heat of combustion of flammable gas(Btu/lb)
 R : Real Distance(m)

3. 환경기준 (Ne)

위에서 선택된 대상물질(국내 20 / 국외30)을 기준으로 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.

IV. 종합위해등급

1) 알고리즘

TABLE.1 종합위해등급 알고리즘

CLASSIFICATION	NFPA			USCG & MSDS	TOTAL
	Nr	Nf	Nh	Ne	
MAX	4	4	4	4	16
MIN	0	0	0	0	0

Table.2 종합 위해 등급의 위험 정도 분류

통합범위	종합위해등급	위험정도	색구분
0 - 3	E (0)	경미 (Light)	회색
4 - 6	D (1)	약간 위험 (MODERATE)	연두
7 - 9	C (2)	위험 (INTER MEDIATE)	노랑
10 - 12	B (3)	대단히 위험 (HEAVY)	주황
13 - 16	A (4)	매우 위험 (SEVERE)	검정

V 종합 위해등급에 의한 Risk contour 작성

◇ 증기운 폭발사고(UVCE) : 계산예

Cyclohexane의 반응기에서 누출로 인한 폭발사고로서 폭발량(M) = 50 ton / Cyclohexane의 연소열(E_c) = 18,700 Btu/lb TNT의 연소열(E_{cTNT}) = 2,000 Btu/lb $\eta = 0.05(0.01\sim0.1)$ 로 가정

$$\text{TNT당량}(W) = \frac{nME_c}{E_{cTNT}} = \frac{0.05 \times 50000 \times 2.2 \times 18700}{2000} = 51486 \text{ lb}$$

과압력과 환산거리와의 관계는 식 (4)와 관계그림에 의해 계산하였다.

식 $P_r = a + b \ln C$ 을 이용하여 치사율 (혹은 파괴율)에 따른 과압력과 피해거리를 계산한 결과는 아래와 같다.³⁾

Table. 3 대상물질의 INPUT DATA

물질명 : Cyclohexane					
종합위험등급	Storage Weight(kg)	MW	BP (°C)	VP (mmHg)	Weather Stability
C	50000	84.18	81	95 (20°C)	D

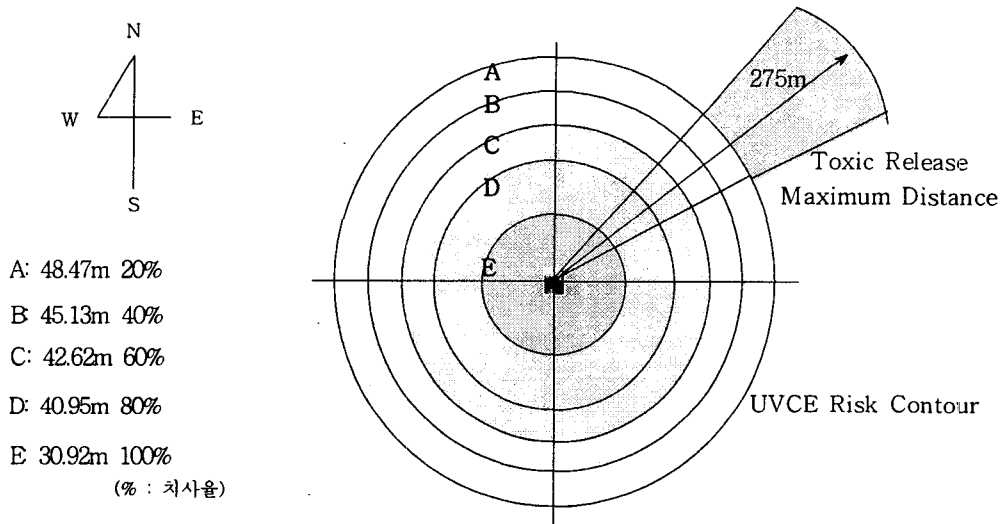


Fig. 2 Cyclohexane의 종합위험등급 및 Risk Contour

결론

1. 유해화학물질의 종합 위해 등급의 설정에 따라 화학공정 및 저장 등에서 발생할 수 있는 화재·폭발의 잠재적 위험성 산정을 통한 사전 안전성 평가의

Tool로 활용될 수 있다.

2. 또한 사용 방법의 결과로 나타난 위험수치는 화학공장과 피해 대상이 되는 공장부근의 주거지역이나 공공시설 사이를 어떻게 격리 또는 수용되어야 하는지를 다루는 토지 이용 규제의 이론치로 활용될 수 있다.

3. 유해화학물질의 유출시의 신속한 대응 및 조치, 기타 화재폭발의 취약지구 관리 등에도 활용될 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 G 1-7

3). Bodurtha, F·T, "Industrial Explosion Prevention and Protection", McGraw-Hill Book Company, New york, 1980.