

증기운 폭발로 인한 예상최대손실 산정용 EML Version 2.0 컴퓨터 프로그램 소개

김 원 철

(위험관리 정보센터 대리)

1. VCE(Vapor Cloud Explosion, 증기운 폭발) EML 개념

가연성 가스, 가연성 액화가스 또는 인화성 액체를 저장, 취급, 제조하는 인간의 실수나 장치 결함 등으로 이들 물질이 다량 유출되어 형성된 증기운이 점화원과 접촉하여 폭발시 발생할 수 있는 최대 물적 손실을 의미한다.

2. 기존 EML 평가방법 및 한계

가. 기존 EML 평가방법

- 공정내 물질 선정 및 가연성 증기량을 계산하고
- 물질의 연소열과 TNT연소열을 비교하여 증가량을 TNT량으로 환산한 후
- 환산한 TNT량을 토대로 폭약의 폭발특성 도표에 적용하여, 폭발과압 범위 및 피해규모를 산정한다.

나. 한계 사항

- 폭발시 손상을 일으키는 폭발 과압(overpressure)의 주변 시설물, pipe rack, 건물 등 장애물에 의해 영향을 받으나, 고려하지 않는다.
- 증기운 폭발의 거리에 따른 과압소멸 특성은 폭발물의 폭발과

상이하나 동일한 것으로 간주한다.

- 폭발과압이 폭발 인근 지역에선 실제 증기운 폭발에 비해 과도하게 평가된다.
- 증기운 이류(移流, drift)에 따른 피해지역이 변경될 수 있으나, 이를 고려하지 않는다.

3. EML Version 2.0 컴퓨터 프로그램 특징

물성자료 데이터 베이스 제공 전세계적으로 실제 발생한 증기운 폭발사고 관련 물질과 증기운 폭발 발생 가능물질의 물성자료(물질별 25개 특성치)를 프로그램에 내장하였다.

따라서, 공정에서 취급중인 많은 물질 중에서 증기운 폭발위험이 없는 물질을 잘못 선정하여 평가하거나 물성자료의 오류로 인하여 발생할 수 있는 근원적 오류를 배제하였다.

가. 장치에서의 유출량 산정 방법 보완

장치 형태(수직원통형, 수평원통형, 구형), 유출 부위(장치벽체, 배관계통), 물질 상태(액체, 기체, 2상)에 따라 유출속도는 다르며, 배관에서 유출이 일어나는 경우 배관재질을 고려하여야 정확

한 유출량을 산정할 수 있으므로 이들 사항을 고려하여 평가할 수 있도록 보완하였다.

나. 증기운의 대기확산 예측 추가 장치나 배관계통에서 가연성 가스나 고휘발성 인화성 액체 물질의 유출 사고시 공기와 혼합·확산하여 형성되는 증기운의 크기 및 증기운이 폭발범위에 이르는 지역을 추정할 수 있다.

다. 폭발과압 범위 산정 보완 폭발과압 생성에 영향을 주는 주변 장애물의 시설 밀집상태를 고려하였고, 폭발물의 폭발 특성이 아닌 증기운 폭발 특성에 의해 평가토록 보완하였다.

라. 기업휴지손실 산정 추가 증기운 폭발로 인한 전체 물적 피해액을 기준으로 증기운 폭발시 발생할 수 있는 기업휴지손실(Business Interruption Loss)을 산정할 수 있도록 추가하였다.

마. 프로그램 신뢰성 검증 1974년 영국의 Flixborough 사고와 1989년 미국의 Pasadena 사고에 적용하여 본 프로그램의 신뢰성을 검증하였다.

바. 윈도우즈용 프로그램 마이크로 소프트사의 MS-Windows는 개인용 컴퓨터(PC)에서 세계적인 주도적 운영체제(Oper-

ating System)이므로 본 프로그램은 윈도우즈 환경에서 사용할 수 있도록 개발하였고, 윈도우즈 기본 작업 환경의 일관된 메뉴방식을 제공하기 때문에 사용자가

본 프로그램을 이용하여 용이하게 EML을 산정할 수 있다.

4. 증기운 폭발에 대한 EML 평가방법 비교

증기운 폭발에 대한 한국화재보험협회(KFPA)와 IO(International Oil Insurers), IRI(Industrial Risk Insurers)의 평가 방법과 결과를 비교한 것은 다음과 같다.

가. 내용 비교

기관 내용	IOI	IRI	KFPA
평가 시 고 려 사 항	①물질량 재공량, 처리량 ②물질특성 물질의 연소특성별로 3개군으로 분류	①장치용량 ②공정조건 온도, 압력 ③물성자료 밀도(기체, 액체), 분자 량, 액체열용량, 증발열, 비점	①공정형태 : 연속식, 회분식 ②장치형태 : 수직·수평원통형, 구형 ③공정조건 : 온도, 압력 ④유출부위 : 배관, 장치벽체, 배관 재질 ⑤물질상태 : 기체, 액체, 2相 ⑥물성자료 : 분자량, 순연소열, 물질 연소에 필요한 산소량, 비점, 밀도(기체, 액체), 열용량(기체, 액 체), 점도, 증기압, 증발열, 폭발(연소) 범위 ⑦기상조건 : 유출시간대, 태양열, 풍속 ⑧시설 밀집상태
과압 영향인자	고려치 않음.	고려치 않음.	과압형성에 영향을 주는 장치 밀집(배치)상태를 고려하 여 과압범위 산정
평 가 순 서	①물질량 결정 전체 재공량, 가장 큰 용기의 용량 또는 처 리량 중 제일 큰 것 ②물질분류 결정 일반 탄화수소, 에틸 렌계통, 산화에틸렌 계통 ③피해범위 결정 도표에서 결정 ④EML 산정	①재공량 결정 장치 내용적, 물질상태 (기체, 액체), 공정조건 (압력, 온도)을 기준으로 결정 ②증발량 결정 액체 열용량, 공정온도, 비점 및 증발열을 토대로 결정 ③TNT량으로 환산 TNT 연소열과 비교하여 TNT 상당량으로 환산 ④과압범위 결정 환산된 TNT 상당량을 토 대로 과압거리 도표에서 과압범위 결정 ⑤EML 산정	①기준 물질량 결정 : 공정형태(연속식, 회분식), 물질 상태(기체, 액체, 2相, 과냉액체), 장치형태, 공정 조건을 토대로 재공량 또는 처리량을 기준 물질량으 로 결정 ②질량유출속도 산정 : 유출부(배관, 장치벽체), 물질 상태, 물성조건을 이용하여 평균 유출속도 및 증발 량(액체 경우)을 산정 ③대기확산 수행 : 기준 물질량, 유출속도 및 기상조건 을 토대로 미착하시 최대 확산거리 및 증기운 범위 를 산정 ④과압범위 산정 : 증기운(연료-공기 혼합물) 크기, 물성자료, 과압형성에 영향을 미치는 시설 배치상태 를 고려하여 폭발로 인하여 발생할 수 있는 과압이 미치는 범위를 산정 ⑤EML 산정 ⑥기업휴지손실 산정 : 증기운 폭발로 인한 물적 손실 을 토대로 추정 기업휴지일수를 제시하고, 기업휴지 손실 산정방법 제공
특 징	①DOS용 컴퓨터 프로 그램 제공 ②물질명, 물질량만 알 면 누구나 평가할 수 있음. ③간단한 공장 배치도 를 그릴 수 있는 기 능 제공	①일반적인 폭발위험 평가 에 이용되는 TNT Equiv- alency Model에 근거한 수(手)계산 방법임.	①Windows용 컴퓨터 프로그램 제공 ②증기운 폭발사고 물질에 대한 물성자료 기본 제공 (프로그램에 내장) ③대규모 증기운 폭발실험 및 실제 증기운 폭발사고를 토대로 제시한 자료에 근거하였음. ④평가에 필요한 최소 사항만으로 평가를 할 수 있도 록 모든 계산 과정을 자동화하였음.

나. 평가결과 비교

(1) Flixborough 사고

IOI	IRI	KFFA	실제피해(항공사진 분석)
100% 손실 -63m 이내	100% 손실 -79m 이내	100% 손실 -89m 이내	By-Pass배관 파열부름 중심으로 건물 전손 -43m 이격 project office -57m 이격 main office building -87m 이격 control room (실내 18명 전원 사망)
80% 손실 -63~115m	70% 손실 -79~107m	80% 손실 -89~148m	-139m 이격 warehouse 옥외 plant 전손 -당해 cyclohexane 산화공정 -48m 이격 section 7 -95m 이격 section 27
40% 손실 -115~230m	40% 손실 -107~213m	20% 손실 -148~277m	-143m 이격 수소공장 옥외 plant 분손
		5% 손실 -277~600m	-217m 이격 acid 공장 -반경 246m 이내 옥외 plant 저장탱크 -261m 이격: 전손 -348m 이격 tank farm 미손상

(2) Pasadena 사고

IOI	KFFA	실제 피해(IOI 1992. 11 자료)
100% 손실 -72m 이내	100% 손실 -106m 이내	1. No.6 반응기에서 사망으로 250m 까지 손실발생
80% 손실 -72~132m	80% 손실 -107~178m	2. 500~600m 범위내 사무실 건물 삼한 손상 입음. 단, 냉각탑은 파 손되지 않았음.
40% 손실 -132~264m	20% 손실 -178~331m	3. 반경 850m 범위내에 있던 20여 개 이상의 저장탱크 중 8기 파손
	5% 손실 -331~716m	

⑦공단입지 선정, 공단·공장 주
변 도시계획시 기초 자료로 활용

본 EML Version 2.0 컴퓨터 프로
그램을 이용한 석유화학공장의 EML
평가방법 및 활용방법은 지면 관계상
차기에 발표회, 교육 또는 세미나 등
에서 자세하게 소개할 예정이다.

5. EML Version 2.0 활용
범위

- ①공정장치나 배관계통에서의
위험물질 유출 속도 산정
- ②증기운의 대기 확산시 폭발·
화재 위험지역 예측
- ③증기운 폭발시 폭발과압 범
위 및 물적 피해 손실 산정
- ④증기운 폭발로 인한 기업휴
지손실 추정
- ⑤제3자 배상책임 범위 추정
- ⑥공장에서의 비상계획 수립시
활용

