

제 4류 위험물 판매취급소의 위험성 평가

The Hazard Analysis of the Forth Hazardous Materials Market

이창욱*, 이수경**, 유상빈**

* : 유신건축(주)

** : 서울산업대학교 안전공학과

1. 서론

20세기에 들어와 세계적인 정유산업과 석유화학산업의 눈부신 발전에 부응하여 우리나라에서도 1960년에 국내최초의 정유공장인 대한석유공사가 미국의 Fluor社와 합작으로 울산에 건립된 후 약 40여년의 세월동안 국내의 정유산업, 석유화학산업, 가스산업 분야도 괄목할만한 발전과 성장을 이루었다고 할 수 있다. 또한 경제규모가 커지고 생산과 소비가 따라서 확대되어 인구의 도심지역 편향현상이 생겨 이러한 위험물 취급소가 수도권외의 부도심지역과 대도시 부근의 주거지역에 공존하게 되었다. 본 연구에서는 도심지에 위치한 제4류 위험물 판매취급소에 대해 실제 대상에 대한 안전진단을 통해 화재위험성을 평가해 보고자 한다.

본 위험성 평가에는 PHAST⁽¹⁾ 모델과 Super-Chem⁽²⁾ 모델을 이용하여 제4류 위험물의 위험성에 대한 인식을 고취시키고 재해의 사전방지를 위한 대책수립에 기여하고자 하였다.

2. 이론적 배경

1) Pool 화재의 연소속도

Blinov와 Khudiakov⁽³⁾는 실험으로서는 가장 큰 Pool 직경의 액체탄화수소 Pool Fire에 대해 체계적으로 연구하였다. 가솔린, 트랙터용 등유, 경유등을 이용하여 직경 0.37cm에서 22.9m까지의 실린더형 Pan에서 연소되는 실험을 하였다. 이 실험식에 의하면 화재로부터 액체 Pool로의 전열은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\dot{q}}{A} = \frac{4K}{d} (T_F - T_P) + H(T_F - T_P) + \sigma_F(T_F^4 - T_P^4) (1 - e^{-kd}) \quad (1)$$

여기서 A : 팬의 면적, $\pi D^2/4$

K : 팬의 열전도도

H : 대류전열계수

2) Pool Fire의 직경

방출율과 방출기간에 근거한 Spill은 다음과 같은 3가지 카테고리로 나눌 수 있다.

① 순간적인 Spill - 모든 Spill이 매우 짧은 시간동안 발생

② 계속적인 Spill - Spill이 정해진 속도로 긴시간 동안 계속된다.

③ 반계속적 Spill - 주어진 부피의 액체가 주어진 기간 동안에 Spill된다. 여기서의 방출율은 한정되기는 하나 시간에 따라 변할 수 있다

계속적 Spill에서는 액체는 확산되고 전체 연소속도가 Spill 속도와 같게 될 때까지 연소면적이 증대된다. 이런 현상은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$D_{eq} = 2 \left[\frac{V_L}{\pi y} \right]^{1/2} \quad (2)$$

여기서, D_{eq} : 평형상태 Pool의 직경, m

V_L : 액체의 Spill속도, m³/s

y : 액체의 연소속도, m/s

순간적 Spill 경우 Pool Fire의 최고직경과 최고직경이 되기 위한 시간은 다음 식과 같이 표현된다.⁽⁴⁾

$$\left(\frac{D}{D_m} \right)^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{t}{t_m} \right) \left[1 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \left(\frac{t}{t_m} \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$D_{m'} = 2 \left[V_L^3 \cdot g' / y^2 \right]^{\frac{1}{8}} \quad (4)$$

$$t_m = 0.6743 \left[V_L / g' \cdot y^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

여기서 V_L : Spill 액체의 전체부피, m³

3) Pool화재의 화염높이

Thomas⁽⁵⁾는 Wood crib 화재의 실험실 규모 실험과 수치분석에 의해 바람이 없는 경우의 난류확산화염의 평균가시높이에 대한 관계를 개발하였다.

원형화재에 대한 이 관계는 다음식과 같이 된다.

$$\frac{H}{D} = 42 \left[\frac{\dot{m}''}{\rho_a \sqrt{gD}} \right]^{0.61} \quad (6)$$

여기서, \dot{m}'' : 단위 pool 면적당 질량 연소속도, kg/m² · s

ρ_a : 대기중 공기밀도, kg/m³

4) 화염경사

Welker와 Sliepcevich⁽⁶⁾가 액체연료에 대한 소규모실험(0.3에서 0.6m의 pan이용)으로 유도한 관계는 다음과 같다.

$$\frac{\tan \theta}{\cos \theta} = 3.3 \left[\frac{du_w}{\nu} \right]^{0.07} \left[\frac{u_w^2}{gD} \right]^{0.8} \left[\frac{\rho_v}{\rho_a} \right]^{-0.6} \quad (7)$$

2-2. Pool 화재로부터의 열복사

두 가지의 기본적인 열복사모델로서는 점열원 복사 모델과 고정화염복사모델이 있다. 열복사의 주요 파라미터인 복사력과 가시계수(View factor) 그리고 이들 변수의 계산 방법은 다음과 같다.

1) 점열원 복사 모델 (Point source radiation model)

점열원 복사 모델은 다음의 가정을 근거로 한다.

- ① 화염은 열에너지의 작은 열원으로 대표된다.
- ② 화염으로부터 복사된 에너지는 연소 중 방출에너지의 정해진 분율만큼이다.
- ③ 열복사 강도는 열원으로부터 거리의 제곱에 반비례하여 변한다.

열원으로부터 어떤 거리의 복사강도를 수학적으로 표시하면 다음과 같다.

$$\dot{q}_r'' = \frac{\dot{Q}}{4\pi x^2} \quad (8)$$

$$\dot{Q} = \eta \cdot \dot{m} \Delta H_c \quad (9)$$

여기서, \dot{Q} : 단위시간당 복사된 전체에너지, W

\dot{m} : 연료의 질량 연소 속도, kg/s

η : 복사된 연소에너지의 분율

x : 점열원에서 관찰자까지의 반지름거리

2) 고정화염 복사모델(Solid Flame Radiation Model)

고정화염 복사모델은 화염의 전체 가시체적이 열복사파를 방출하며 비가시부의 가스는 많은 복사파를 방출하지 않는다는 주장에 근거한다. 한편, 연소에서 나오는 모든 열에너지는 결국 주위로 복사된다는 것은 사실이지만, 에너지 방출율이 중요한 것은 가시화염 부분만이다.

$$\dot{q}_r'' = \tau \cdot E_f \cdot F \quad (10)$$

여기서, τ : 대기의 복사에너지 투과도(Transmissivity)

F : 가시계수(View Factor) 또는 배치계수(Configuration Factor)

E_f : 화염의 평균 복사력

$$E_f = E_b \cdot \epsilon$$

E_b : 흑체의 복사력, ϵ : 복사능,

$$E_b = \sigma(T_f^4 - T_a^4)$$

② 배치계수 또는 가시계수(Geometric View Factor)

화재와 화재 밖의 물체 사이의 복사교환인자는 화염의 모양, 화재와 수열체간의 상대거리, 물체의 상대적 방위에 의존된다. 일반적으로 배치계수(View factor)는 다음식으로 나타내진다.

$$F_{A_1 \rightarrow A_2} = \int_{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 \quad (11)$$

- 여기서, 1: 정상상태와 화재측 미소면적 dA_1 사이의 각도
 2: 정상상태와 수열체측 미소면적 dA_2 사이의 각도
 r: 화재요소와 수열체 요소간의 거리

3. Case Study

1) 대상 건물의 선정

Case Study를 위한 대상건물은 부천의 ○○상사(주)로서 현재 약 10여가지의 제 4류 위험물을 판매 취급하는 회사이다. 이 곳에는 지하저장탱크 10여기와 3대의 이동탱크로리를 갖추어 놓고 있다.

2) 최악의 사고시나리오⁽⁷⁾

당 사업장은 지하저장탱크에 Unloading 경우, 보통 새벽에 작업을 실시하는 경우가 많으며 주위에 등을 설치하지 않아 작업에 위험성을 내포하고 있다. 이러한 Unloading 작업에 대해 다음과 같은 시나리오를 작성하였다. 작성된 시나리오는 EPA에서 최근에 수정하여 정의한 바에 의하면 최악의 경우에 대한 시나리오를 압력용기 혹은 공정배관의 실패의 결과 위험물질의 최대량의 누출이라고 하였으며 여기에는 가장 안정된 기상 조건에서 10분간 누출을 포함하여 수동적 이송시스템을 고려한다고 하였다.

3) 물질의 물리·화학적 특성치

대상물질은 ○○○○(주)에서 가장 많이 취급하는 것으로 하였으며, 그 대상물질의 특성치는 다음과 같다.

	인화점	폭발하한계	폭발상한계	비중	끓는점	분자량
Xylene	27~32℃	1.0%	7.0%	0.8611	138~144℃	106.16
Acetone	-17.8℃	2.6%	12.85%	0.791	56.2℃	58.09
Toluene	4℃	1.2%	7.8%	0.8488	111℃	92.14

4) Simulation 결과

탱크로리에서 Unloading의 경우 coupling 이탈로 100mm 호스에서 약 10분간 누출되었다. 탱크로리의 용적은 내경 1.9m, 길이 10m이며, 풍속 1.5m/s, 주위온도 298 °K, 기상안정도 : F, 습도 : 50%이다. 약 10분간 누출 후 Pool Fire에 대하여 영향평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

Super-Chem, PHAST Pool 지름 및 복사열 영향평가 비교(m)

구 분		PHAST	Super-Chem
Toluene	Pool	44.13	44.65
	12.5KW/m ²	28.04	39.94
	37.5KW/m ²	-	-
Acetone	Pool	40.26	45.63
	12.5KW/m ²	86.31	57.73
	37.5KW/m ²	47.97	27.95
Xylene	Pool	45.05	45.11
	12.5KW/m ²	27.55	30.80
	37.5KW/m ²	-	-

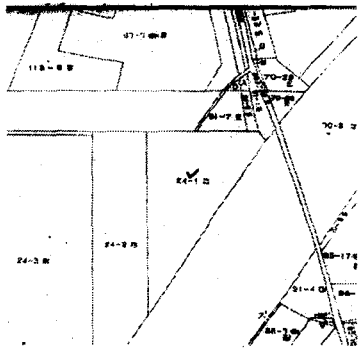


fig. 1. OOOO(주) 대상도면

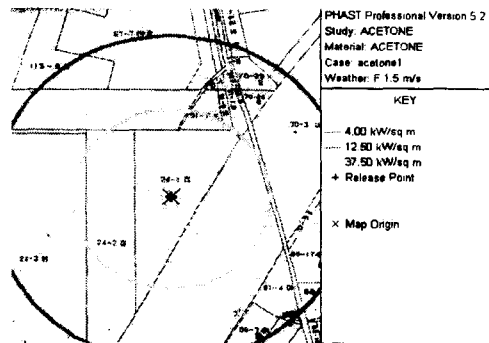


fig. 2. Heat Radiation of Acetone

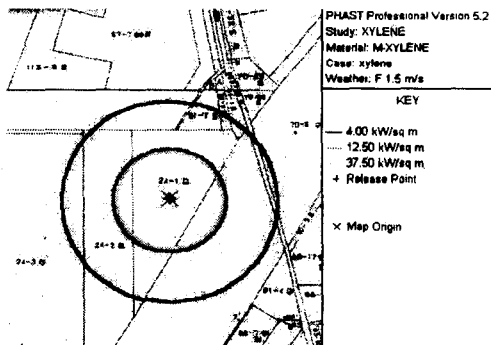


fig. 3. Heat Radiation of Xylene

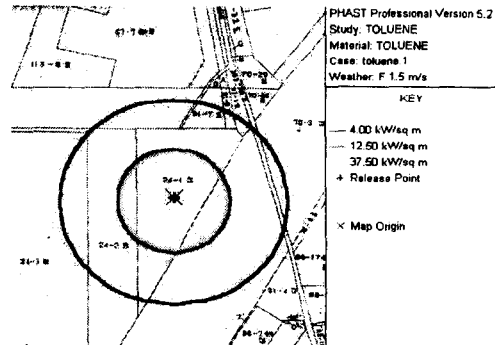


fig. 4. Heat Radiation of Toluene

4. 결론

제 4류 위험물을 취급하는 판매소에 대하여 Pool Fire에 대한 위험성평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폭발한계의 범위가 클수록 복사열에 대한 피해가 더욱 컸다.
2. TNO 모델에 의한 복사열 평가에 의해 설비에 손상을 줄 수 있는 37.5KW/m²에 해당하는 거리는 PHAST 모델의 경우 47.97m에 이르렀으며, Super-Chem 모델의 경우는 27.95m에 이르렀다. 이것은 인근 주변의 건물에도 심각한 손상을 입힐 수 있는 열량이다.
3. 반면, Toluene, Xylene의 경우 건물에 큰 손상을 입힐 수 있을 정도의 열량은 발생하지 않는 것으로 계산되었다.
4. 그러므로, 제 4류 위험물을 취급하는 곳에서는 각각의 물질별 위험성 평가를 통해 차등있게 다루어야 할 것이다.

참고문헌

1. "PHAST Professional Edition Ver. 5.1 User Guide", DNV Technica, July 1997.
2. Arthur D. Little, "SuperChems Professional Edition Version 3.1 User Guide", Arthur D. Little, Inc., 1998. 8.
3. V.I. Blinov, G.N. Khudiakov, "Certain Laws Governing Diffusive Burning of Liquids," Academia Nank, SSSR Doklady, pp. 1094-1098, 1957.
4. P.K.Raj, A.S.Kalekar, "Assessment Models in Support of the Hazard Assessment Handbook(CG-446-3)", Chap.9, Technical Report prepared for the U.S.Coast Guard, NTIS , January, 1974.
5. P.H.Thomas, "The Size of Flames from Natural Fires", 9th Int. Combustion Symposium, Comb. Inst., Pittsburgh, PA, pp.844-859, 1963.
6. J.R.Welker, C.M.Sliepcevich, "Wind Interaction Effects on Free Burning Fires", Tech, Report, Office of Civil Defense of U.S.Bureau of Standards, 1967.
7. 한국산업안전공단, "IRMS 구축을 위한 연구보고서", 1998. 5.