



LPG 충전소 내 설치된 방호벽의 효용성 평가

†이진한 · 조영도 · 문종삼 · 김래현*

한국가스안전공사 가스안전연구원, *서울과학기술대학교 화공생명공학과
(2017년 11월 29일 접수, 2018년 9월 17일 수정, 2018년 9월 18일 채택)

An Availability Assessment of Protection Wall Installed in LPG Filling Station

†Jin-Han Lee · Young-Do Jo · Jong-Sam Moon · Lae Hyun Kim*

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

**Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National Univ. of
Technology*

(Received November 29, 2017; Revised September 17, 2018; Accepted September 18, 2018)

요약

LPG충전소 내에서 발생하는 주요 사고는 제트화재, 풀화재, 증기운 폭발로 구분된다. 방호벽을 충전소 내에 설치하면, 제트화재 시나리오에 대해서는 복사열로 인한 피해를 경감할 수 있고 풀화재 시나리오에 대해서는 풀의 확장을 제한하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 증기운 폭발 시에는 증기운의 확산과 폭발과압으로 인한 인명 피해를 경감하는 효과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 제트화재, 풀화재, 증기운 폭발 등 LPG충전소에서 발생 가능한 사고 시나리오별로 방호벽의 피해경감 정도를 평가할 수 있는 방법을 제안하였으며, LPG충전소 내 방호벽의 효과성에 대해 사례연구를 수행하였다. 이를 통해 제트화재와 증기운 폭발 발생 시 방호벽 뒤에 위치한 수용체의 사망확률을 효과적으로 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

Abstract - Jet fire, pool fire, and vapor cloud explosion are major accident scenarios in LPG filling station. The protection wall would mitigate radiation effect in a jet fire. In case of a pool fire, the protection wall would restrict expanding the pool area. The protection wall might both obstruct the dispersion of released vapor and protect blast overpressure in a vapor cloud explosion scenario. In this paper, An availability assessment method of the protection wall how much reduce damage to receptors is proposed. Additionally application cases are presented for the effectiveness of protection wall in the LPG filling station. The study shows that the protection wall can effectively reduce the death probabilities of receptors located behind the wall in cases of the jet fires and the vapor cloud explosions.

Key words : Protection Wall, QRA, LPG Filling Station

I. 서론

LPG충전소에서 누출 사고시 화재 폭발의 위험을 줄이기 위해서는 안전장치를 추가로 설치하거나, 기존에 설치된 안전장치의 성능을 향상시키거나, 안전설비의 배치를 최적화하는 방안을 고려할

수 있다. LPG충전소에 설치되는 안전설비는 과류 차단밸브, 과압안전장치, 누출경보기 연동 긴급차단장치 등 사고빈도를 감소시키는 안전설비와 물분무 설비, 방호벽 등 사고 시 피해를 경감시키는 설비가 있다. 기존 연구결과[1]에서는 LPG충전소 내 최악의 시나리오인 탱크로리 비등액체증기폭발(BLEVE, boiling liquid expanding vapor explosion)을 효과적으로 감소시킬 수 있는 안전설비로 냉각살수 장치, 탱크로리용 과류차단밸브, 방호벽을

†Corresponding author:imhappy@kgs.or.kr
Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

제안하였다. 이러한 안전설비 중 방호벽의 경우 다른 안전설비와는 달리 충전소 내 방호벽 설치형태와 위치에 따라 주변건물 또는 사람에게 미치는 피해를 경감시키는 기능을 가지는데 일반적으로 알려진 방호벽의 의 3가지 주요 기능은 ①화재시 화염에 의한 복사열을 차단하거나, ②증기운 폭발시 과압을 차단하거나, ③누출된 액화가스의 유동을 방지함으로써 주변 사람과 건물을 보호하는 것으로 요약된다. 그러나 위 3가지 방호벽의 효과를 정량적으로 평가하는 방법에 대해서는 기존 연구사례를 찾기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 누출원의 중심을 기준으로 방호벽이 설치되는 상대적 위치에 따라 주변 사람에게 미치는 위험의 감소 효과를 정량적으로 평가하는 방법을 제안하고 시나리오 설정을 통한 사례 분석을 통해 그 제안된 방법의 효용성과 한계를 논하고 자 한다.

II. 접근방법

2.1. 시나리오 선정

LPG충전소 내에서 누출이 발생하였을 경우 확산되다가 착화되면 화재나 폭발로 이어질 수 있다. 누출사고 발생에 따라 화재와 폭발로 전개되는 과정은 Fig. 1과 같이 사건수목분석(Event tree analysis) 방법을 이용하여 분석하였다. 이 중 BLEVE 시나리오는 누출로 제트화재 또는 풀화재 사고가 발생했을 때 탱크로리가 가열되는 경우에 발생한다. 본 연구에서는 방호벽의 방호효과를 분석하는 것이 목적이므로 복잡성을 피하기 위해 BLEVE시나리오는 사례연구에서 제외하고, 제트화재(Jet fire), 풀화재(Pool fire), 증기운폭발(Vapor cloud explosion)의 세가지 사고를 대상으로 분석을 수행하였다.

2.2. 피해예측 모델

각 피해는 Fig. 1과 같이 사건이 전개되어 발생한다. 사고 피해예측 모델에 대해서는 미국 화학공학회 산하 공정안전센터(CCPs, center for chemical process safety)에서 발간한 가이드라인[5]에 종합적으로 소개되어 있다. 이 모델들 중 본 사례

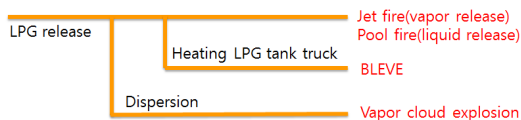


Fig. 1. Event tree in LPG filling station.

Table 1. Estimation model used for case analysis

Consequence	Model [reference]	Description
Liquid release	Crowl and Louvar [2]	$\dot{m} = CA\sqrt{2(P_1 - P_2)\rho_1}$ where \dot{m} is the mass flow rate C is the discharge coefficient A is the area of the hole P_1 is the upstream pressure P_2 is the downstream pressure ρ_1 is the liquid density
Vapor release	Crowl and Louvar [2]	$\dot{m} = CA\rho_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{RT_1} \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$ where γ is the heat capacity ratio g_c is the gravitational constant M is the molecular weight T_1 is the upstream temperature ρ_1 is the liquid density
Vapor cloud dispersion	DEGADIS [3]	DEGADIS is an atmospheric dispersion simulation model developed specifically to model heavier-than-air gaseous releases.
Ignition	HSE [4]	$P_{ig} = 0.017m^{0.74}$ where P_{ig} is the ignition probability \dot{m} is mass flow rate[kg/sec]
Jet fire	CCPS[5]	<Considine and Grint model> $L = 9.1 m^{0.5}$ where L is the flame length
Pool fire	CCPS[5]	$\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0.61}$ where H is the visible flame height [m] D is the pool diameter [m] m_B is the mass burning rate [kg/m ² s] ρ_a is the air density g is the acceleration of gravity [9.8m/s ²]
Thermal flux	CCPS[5]	$E_r = \tau_a \eta \dot{m} \Delta H_c F_p$ where E_r is the thermal flux received at the target τ_a is the atmospheric transmissivity η is the fraction of total energy converted to radiation ΔH_c is the energy of combustion F_p is the view factor
Vapor cloud explosion	CCPS[5]	<TNT Equivalency model> $W = \frac{\eta M E_c}{E_{TNT}}$ where W is the equivalent mass of TNT η is an empirical explosion efficiency M is the mass of hydrocarbon E_c is the heat of combustion of flammable gas E_{TNT} is the heat of combustion of TNT
Radiation	CCPS[5]	<Eisenberg et al model> $Pr = -14.9 + 2.56 \ln \left(\frac{tI^{1/3}}{10^4} \right)$ where Pr is the probit t is the duration of exposure I is the thermal radiation intensity [W/m ²]
Over-pressure	CCPS[5]	<Eisenberg et al model> $Pr = -77.1 + 6.91 \ln(P_o)$ where Pr is the probit t is the duration of exposure P_o is the peak overpressure [Pa]
Probability of death	CCPS[5]	<Finney model> $P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ where Pr is the probit variable, which is normally distributed and has mean value of 5 and a standard deviation of 1 u is the integration variable

연구를 위해 사용한 피해예측 모델을 Table 1에 요약하여 나타내었다.

첫 번째 제트화재(jet fire) 시나리오는 누출된 액체 또는 증기가 바로 착화되어 화재가 일어나는 경우이다. 누출되는 액상 또는 기상의 LPG에 대한 누출 속도식은 Crowl and Louvar가 제안한 모델식[2]을 사용하였다. 누출된 액상 또는 기상의 LPG가 주변 점화원에 의해 바로 착화되는 경우 제트화재가 발생하는데 제트화염의 길이 예측은 CCPS[5]에서 추천한 모델 중 LPG 제트화재에 대한 단순화된 실험 모델인 Considine and Grint모델을 사용하였다. 제트화재로 인해 발생하는 사망 피해 복사열이 지배적이다. 화재시 일정 거리에 있는 수용체(receptor)가 받는 복사열 강도 계산과 이에 따른 사망확률은 CCPS[5]에서 추천한 모델 중 하나를 사용하였다. 복사열 강도 예측은 가장 간단한 모델인 점누출원 모델(point source model)을 사용하였는데 누출된 가스의 에너지 중 복사열로 전환된 분율을 사용하여 예측한다. 예측된 복사열 강도에 사람이 노출되었을 때 사망확률은 Eisenberg가 제안한 모델로부터 Probit을 구한 후 Finny가 제안한 식으로부터 확률로 변환하여 구할 수 있다.

두 번째 풀화재(pool fire) 시나리오의 경우 누출 속도는 제트화재와 마찬가지로 액상누출모델인 Crowl and Louvar 모델[2]을 사용하였으며, 풀이 형성된 후 화재가 발생하는 풀화재 예측도 제트화재와 마찬가지로 CCPS에서 제안한 모델[5] 중 Table 1에 제시된 풀화재(Pool fire) 식을 사용하였다. 풀화재의 경우에도 제트화재와 마찬가지로 복사열이 지배적인 피해영향이므로 복사열에 의한 사람의 사망확률은 Eisenberg의 복사열 피해 Probit 모델을 사용하였다.

세 번째 증기운 폭발(VCE, vapor cloud explosion) 시나리오의 경우 배관 등 누출원으로부터 액상의 가스가 누출되면 지면에서 증발되어 확산되면서 바람방향에 따라 이동하다가 그 증기운이 점화원을 만나면 폭발로 이어지게 된다. 이 시나리오의 경우 누출모델은 풀화재와 동일한 액상누출 예측 모델[2]을 사용하였으며, 확산은 DEGADIS모델[3]을 사용하였다. 증기운의 착화확률은 HSE모델[4]을 사용하여 예측하였다. 증기운 폭발에 따른 피해예측은 CCPS 제안한 모델[5] 중 Table 1의 증기운 폭발모델인 TNT Equivalency 모델을 사용하여 과압의 크기를 예측하였다. 한편, 과압으로 인해 사람이 사망할 확률은 Eisenberg의 과압피해 Probit 모델을 사용하여 예측하였다. 전술한 바와 같이 복사열

피해와 마찬가지로 Probit 값으로부터 사망확률을 구할 수 있다.

2.3. 방호벽 존재 시 피해 예측 방법

방호벽의 설치에 따른 효과는 전술한 바와 같이 복사열 차단, 과압 차단, 누출가스 유동방지이다. 제트화재 시나리오의 경우 방호벽의 기능은 화염에서 발생하는 복사열 차단일 것이다. 제트화재는 누출원으로부터 가스가 누출되는 모든 방향으로 화염이 미칠 수 있다. 다만, 수평방향 누출시 누출원으로부터 가장 먼 곳까지 화염이 미치므로 본 연구에서는 최악의 시나리오라고 볼 수 있는 수평방향으로 화염만을 고려하였다. 이 경우 방호벽의 복사열 차단 효과를 Fig. 2에 도식화하였다. 즉 누출원으로부터 오른쪽으로 향한 제트화염의 경우 방호벽에 가로막혀 수용체에게 피해를 주지 못하는 반면 왼쪽 방향으로 향한 제트화염의 경우는 수용체(Receptor)가 방호벽 뒤에 있더라도 화염의 일부가 수용체에 영향을 미칠 수 있다. 수용체가 받는 복사열은 전술한 제트화재 화염길이 모델인 Considine and Grint모델로 화염의 전체 길이를 계산한 후 수용체 관점에서 방호벽에 가려지지 않는 화염 길이의 분율 만큼 복사에너지가 수용체에 전달된다고 가정하여 그 영향을 평가하였다.

LPG 충전소 내 발생 가능한 시나리오 중 두 번째 시나리오는 풀(pool) 화재이다. 이 시나리오에서 방호벽의 기능은 방호벽 주변에 가연성 액체 풀이

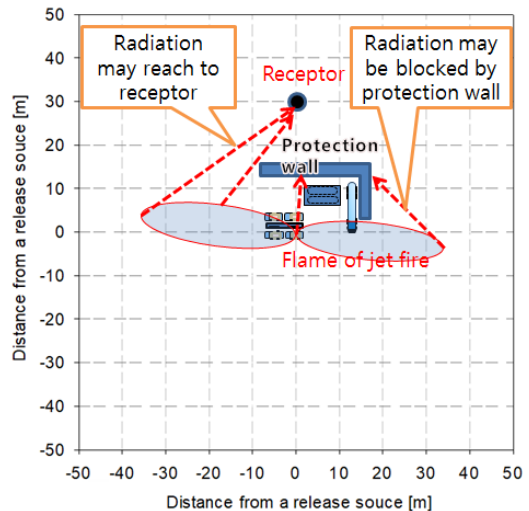


Fig. 2. Concept drawing for jet fire radiation blocked by protection wall.

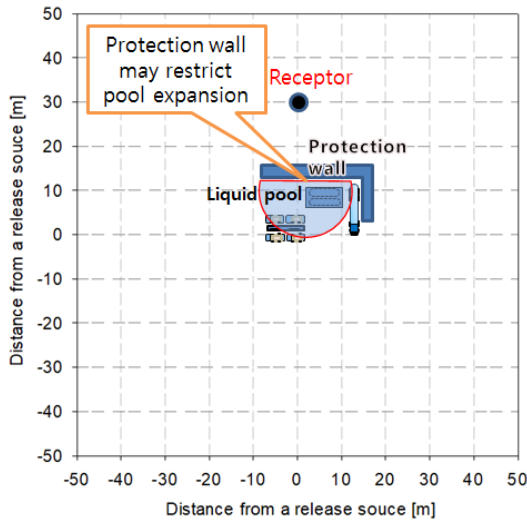


Fig. 3. Concept drawing for liquid pool expansion restricted by protection wall.

형성되는 경우 풀의 크기가 확대되는 것을 제한하는 기능을 수행한다. 이 경우 방호벽 뒤에 있는 수용체에 대해서는 화염의 근접이 제한되어 복사열의 영향이 줄어들게 된다. 본 연구에서는 Fig. 3에 도식화된 것과 같이 방호벽에 의해 풀 크기의 제한을 평가에 고려하였다. 한편, 방호벽에 의해 액체풀이 제한되더라도 방호벽의 높이를 초과하는 풀화재의 경우 방호벽에 가려지지 않은 화염은 여전히 수용체에 복사열 영향을 미친다. 따라서 여기서는 전체 발생하는 복사에너지 중 전술한 풀화재 모델[5]에 따른 풀화재 화염높이에서 방호벽의 높이(2m)만큼 뺀 분을 만큼의 복사열은 수용체에 영향을 미친다고 가정하여 계산하였다. 한편 풀화재의 경우 기상 영향을 받을 수 있는데 여기서는 풍향과 풍속에 의해 화염이 기울어지는 것을 고려하였다. 즉, 화염이 기울어지는 만큼 복사열의 점원(point source)이 이동하는 것으로 가정하여 수용체에 미치는 복사열의 영향을 계산하였다.

LPG 충전소 주변 발생 가능한 시나리오 중 증기 폭발은 제트화재와 풀화재보다는 복합적 과정을 거친다. LPG가 누출되면 증발하여 증기운이 형성되고 바람방향으로 이동하다가 점화원을 만나면 폭발하게 된다. 따라서 수용체가 누출원으로부터 바람 방향에 있으면 멀리 떨어져 있어도 바람을 따라 이동한 증기운의 폭발로 피해를 받을 수 있고 반대로 바람의 반대방향에 있을 경우에는 피해를 피할 수도 있다. 이렇게 가연성 증기운이 바람에 따라 이동하

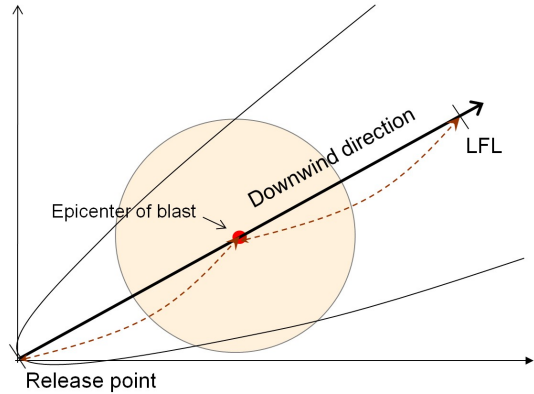


Fig. 4. Illustrative drawing for epicenter of blast.

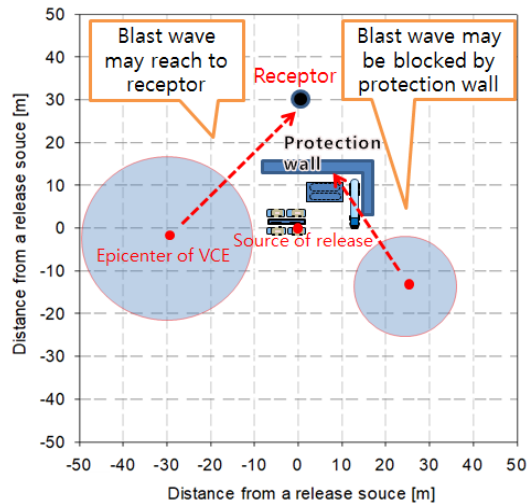


Fig. 5. Concept drawing for blast wave blocked by protection wall.

다가 폭발하는 경우 폭발의 중심점을 어디로 하는 것이 좋은가에 대한 문제가 있는데 이에 대해 CCPS[5]가 제안한 폭발중심점 모델의 5가지는 ①누출지점과 증기운이 꼬리지점의 최소폭발한계의 중간지점, ②폭발범위 안에 있는 증기운중 갇혀 있는 부분의 중간지점, ③ 최소폭발한계에 있는 증기운 중 가장 거리가 먼 곳, ④양론 연소비의 농도에 있는 지점, ⑤설비의 누출지점이다. 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 폭발의 중심점은 누출지점과 최소폭발한계(LFL)의 1/2이 되는 지점으로 가정하였다.

증기운 폭발 시나리오에서 방호벽이 존재하는 경우 누출원으로부터 바람방향으로 이동하는 가연

성 증기운은 방호벽을 만나면 이동이 제한된다. 또한, 바람을 따라 이동하다가 점화원을 만나 폭발하는 경우 방호벽이 폭발원점(epicenter)과 수용체 사이에 위치하게 되면 과압의 영향이 줄어든다. Fig. 5에 이러한 증기운 폭발시나리오에 대해 방호벽에 의한 과압의 영향이 차단되는 경우와 그렇지 않은 경우를 함께 도식화하였다. 그림에서 왼쪽으로 이동한 증기운은 폭발시 수용체에 과압영향을 주지만 오른쪽 아래로 움직인 증기운은 폭발시 방호벽에 가로막혀 수용체에 과압영향을 미치지 못하는 것을 개념적으로 보여준다.

2.4. 시뮬레이션 방법

LPG충전소 내에서 발생 가능한 제트화재, 폭발재, 증기운 폭발 시나리오는 누출원을 중심으로 어느 방향으로 향할지 불확실성을 가지고 있다. 예를 들면 제트화재시 동쪽 방향으로 화염이 향할 확률 50%, 서쪽 방향으로 화염이 향할 확률 50%라고 가정하면 동쪽에 위치한 수용체는 화염이 미칠 확률은 50%를 넘지 못한다. 따라서 수용체의 위치별 위험예측시 이러한 방향에 대한 불확정성이 포함되어야만 과도하게 피해가 예측되는 것을 피할 수 있다.

전술한 3가지 시나리오에 따른 LPG충전소 누출원 주변 각각의 위치 있는 수용체별로 위험을 예측하기 위해 누출원점을 중심으로 가로(X) 100m, 세로(Y) 100m, 1m간격의 그리드를 생성하고 각 그리드가 만나는 노드에 위치한 수용체(X_j, Y_k)의 사망확률을 예측하기 위해 누출방향 변수는 무작위로 추출하는 방법을 사용하였다. 이 경우 특정 노드에 위치한 수용체의 사망확률을 구하는 식은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{ijk} \quad (1)$$

여기서, P_{jk} 는 수용체(X_j, Y_k) 위치에서 사망확률이며, N은 무작위로 추출하는 샘플링의 수이며, P_{ijk} 는 무작위로 추출된 누출방향을 입력 값으로 한 해당 사건 발생시 X_j, Y_k 에 위치한 수용체에 미치는 피해로서 사망확률을 말한다.

제트화재 시나리오의 경우 Fig. 2에는 화염방향을 2개 방향으로 도시하였으나 실제로는 모든 수평방향으로 화염이 향할 수 있다. 여기서는 시뮬레이션을 위해 화염의 방향은 수평면의 모든 방향으로 균일하게 분포한다는 가정하에 균등분포(uniform distribution)로부터 샘플링한 확률론적 값을 화염방

향을 입력변수로 취하는 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하였다. 즉 샘플링된 확률론적 입력변수를 취하여 반복계산(random trial)을 하게 되면 모든 화염방향이 고려된 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다.

한편, 폭발재의 경우 풍향과 풍속의 영향을 받으며, 증기운의 폭발의 경우도 증기운의 이동방향과 희석 정도는 풍향, 풍속, 온도, 습도, 대기안정도 등 기상상태에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서는 현실성을 반영하기 위해 인천지역의 10년간 실제 기상데이터 셋을 무작위로 샘플링하여 폭발재와 증기운 확산을 위한 입력변수로 취하여 Bootstrap Monte Carlo 시뮬레이션을 수행하였다. 이 시뮬레이션 방법에 대해서는 참고문헌[6]에 좀더 상세하게 설명되어 있다.

III. 사례연구

3.1. 입력변수

전술한 바와 같이 제트화재 시나리오의 누출(화염) 방향은 균등분포함수로부터 무작위로 샘플링하고 증기운 폭발시나리오의 증기운 확산 모델링을 위한 기상변수는 기상데이터로부터 무작위로 샘플링하여 입력변수로 사용하였다. 누출방향과 기상데이터 외의 입력변수도 불확실성을 고려하기 위해 확률론적 변수(probabilistic variable)를 사용할 수 있지만 여기서는 복잡성을 피하기 위해 하나의 값으로 표현되는 결정론적 변수(deterministic variable)를 입력변수로 사용하였다.

3.2. 방호벽 효과 사례분석

제트화재가 발생하는 경우 누출원 주변지역의 위치한 사람의 사망확률 계산 결과를 Contour 형태로 Fig. 6에 나타내었다. 2.4에 전술한 바와 같이 제트화재의 화염의 방향은 수평면의 전방향으로 균등하게 분포하는 확률은 가진다고 가정하였으므로 방호벽이 없는 경우 누출원의 중심으로부터 방향에 관계없이 같은 거리에 위치한 수용체는 같은 사망확률은 가지는 것으로 나타났다. 한편 방호벽이 존재할 경우 방호벽 뒤에 있는 수용체 관점에서 방호벽에 가로막히지 않은 화염길이 분을 만큼만 복사열이 수용체에 미칠 수 있다고 가정하였으므로 방호벽 뒤 수용체의 사망확률은 상대적으로 많이 줄어드는 것으로 평가되었다.

폭발재가 발생하는 경우 누출원 주변지역의 위치한 사람의 사망확률 Contour를 Fig. 7에 나타내었다. 제트화재와는 달리 사망확률 Contour가 원형이 아니라 약간 타원형이다. 이러한 현상의 원인은 2.3에

Table 2. Input variable for case study

Category	Input variable	Value
Release	Vapor release rate from 50mm diameter hole for jet fire scenario (kg/sec)	2.54
	Liquid release rate from 12.5mm diameter hole for pool fire scenario (kg/sec)	2.23
	Liquid release rate from 25mm diameter hole for Vapor cloud explosion scenario (kg/sec)	3.75
Dispersion	Height of isopleth	0
	Density at ambient condition (kg/m ³)	2.4
	Surface roughness length (m)	0.1
	Averaging time (sec)	600
	Duration of release	Continuous
	Upper flammability limit (mole fraction)	0.096
	Lower flammability limit (mole fraction)	0.021
Explosion	Heat of combustion of fuel (kJ/kg)	46350
	Explosion efficiency	0.05

설명한 바와 같이 풍향과 풍속에 따라 폭발재 화염이 휘는 것을 고려하였기 때문이다. 폭발재의 경우 방호벽이 존재하더라도 방호벽 뒤편의 사망확률이 크게 감소하지 않는 것으로 평가되었다. 이는 폭발재의 경우 방호벽의 역할 중 액체폭발의 유동을 제한하는 효과는 있으나 폭발재의 화염높이에 비해 상대적으로 방호벽의 높이(여기서는 2m로 가정)가 충분하지 않기 때문에 나타난 결과로 보인다. 현행 LPG충전소 설치기준에 따른 방호벽 높이는 2m 이상이나 1998년 부천 LPG충전소 사고시 폭발재의 화염높이가 10m 이상에 달해 충분하지 않음을 알 수 있다.

증기운 폭발이 발생하는 경우 누출원 주변지역

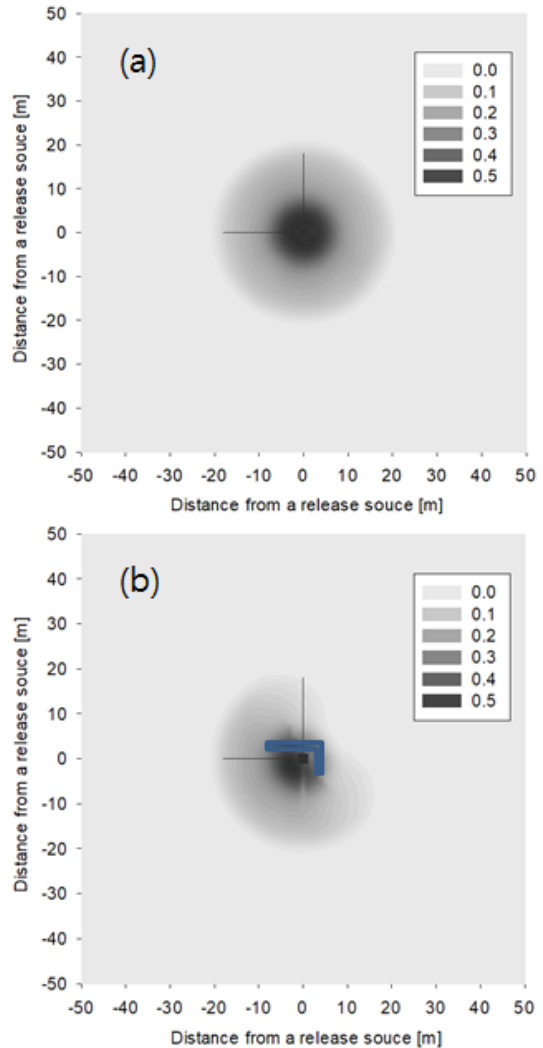


Fig. 6. Death probability contour by jet fire scenario, (a) without protection wall, (b) with protection wall.

의 위치한 사람의 사망확률 계산 결과를 Contour 형태로 Fig. 7에 나타내었다. 방호벽이 없을 경우 누출 주변보다 일정거리가 떨어진 주변지역의 사망확률이 더 높게 예측된 사유는 Fig. 4에서 제시된 바와 같이 가연범위에 있는 증기운이 누출원로부터 바람방향에 따라 이동하여 폭발 중심점이 형성된다고 가정하였기 때문으로 판단된다. 실제 증기운 폭발은 주변 구조물이 있는 경우 연소속도가 가속되어 폭발에 압력이 증가하고 폭발의 중심점도 여러 개일 수도 있는데 여기서는 이러한 복잡

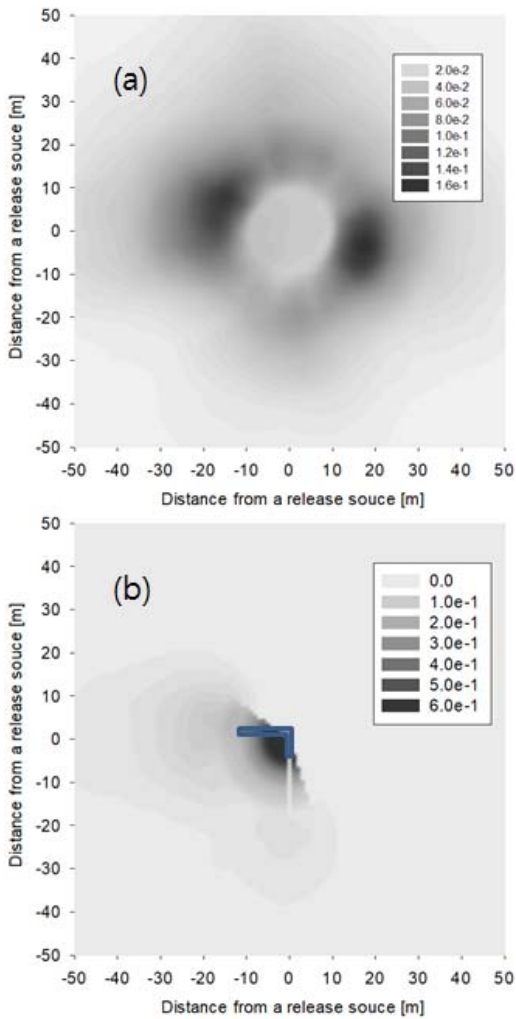


Fig. 7. Death probability contour by pool fire scenario, (a) without protection wall, (b) with protection wall.

한 현상을 고려하지 않고 하나의 폭발중심을 가정하는 TNT상당량 모델의 한계에 기인한 것으로 보인다. 방호벽이 누출원 주변에 존재할 때 바람의 방향이 누출원에서 방호벽 방향으로 향한다면 방호벽은 가연성 증기운의 이동을 막는 유동방지 역할을 수행한다. 또한 방호벽은 증기운이 바람에 따라 이동하다가 점화원에 의해 점화되어 폭발할 경우 폭발과압도 차단하는 역할도 한다. 이렇게 증기운 폭발시 방호벽은 유동방지와 폭발과압을 차단하는 기능을 동시에 수행함에 따라 증기운 폭발 시나리

에의 경우 사람이 방호벽 뒤의 위치한 경우 사망확률을 감소 효과는 상대적으로 큰 것으로 평가되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 LPG충전소 내에서 발생 가능한 제트화재, 풀화재, 증기운 폭발 시나리오가 발생하는 경우 누출원 주변 각각의 노드에 위치한 사람의 사망확률을 누출방향의 불확정성을 고려하여 예측하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 장점은 누출원 주변 방호벽이 위치하는 경우 누출원 주변의 특정 위치에서 사망확률이 의 변화를 시뮬레이션할 수 있다는 것이다. 또한 각 시나리오별로 방호벽의 기능인 유동방지, 복사열차단, 과압차단의 효과를 고려할 수 있는 방법을 제안하였다. 한편, 이 제안된 방법의 적용성을 시험하기 위해 각 시나리오에 대해 사례분석을 수행하여 방호벽의 피해감소 효과를 분석하였다. 이 사례분석을 통해 제트화재 시나리오와 증기운 폭발시나리오 발생 시 방호벽 뒤에 위치한 수용체의 사망확률을 효과적으로 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

본 논문에 제시된 방법으로 방호벽 사망확률 감소 효과 분석할 수 있었다. 이 방법을 응용하여 LPG충전소내 설비(누출원) 및 방호벽의 배치 변화에 따른 주변지역의 위험 변화를 비교평가 한다면 제한된 부지내에서 충전소 내 각종 설비와 방호벽의 배치를 최적화함으로써 위험을 감소시키는 데에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Lee, J. H., Yu, K. S., Park, K. S., "Availability Analysis of Safety Devices installed for Preventing Accidental Event in the LPG Refuelling Station". *KIGAS*, 10(1), 26-31, (2006)
- [2] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, *Chemical process safety, fundamentals with applications*, 2ed., New Jersey: Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences, (2002)
- [3] Spicer, T.O. and J.A. Havens, "Field Test Validation of The DEGADIS Model". *Journal of Hazardous Materials*, vol 16, p. 231-245, (1987)
- [4] HSE, *Ignition probability of flammable gases*, 1st ed., Health & Safety Executive, (1997)
- [5] CCPS, "Guidelines for consequence analysis

LPG 충전소 내 설치된 방호벽의 효용성 평가

of chemical releases”, New York, New York:
Center for chemical process safety of the AIChE,
(1999)

[6] Lee, J. H., Jo, Y. D., Kim, L. H. , “An ap-

proach to estimating the individual risk for
toxic-gas releases using the load-resistance
model”, *Journal of Loss Prevention in the
Process Industries*, vol. 31, p. 88-96 (2014)