

LPG 저장시설에 대한 위험성 평가에 관한 연구

박 명 섭 · 서 재 민 · 이 정 우 · 김 기 수 · 김 성 빈 · 고 재 욱 · 신 동 일*

광운대학교 화학공학과
서울대학교 응용화학부*

(1999년 5월 7일 접수, 1999년 10월 12일 채택)

A Study for Risk Assessment of LPG Storage Facilities

Myung-Seop Park · Jae-Min Seo · Jung-Woo Lee · Ky-Soo Kim ·
Sung-Bin Kim · Jae Wook Ko · Dong-Il Shin*

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University
School of Chemical Engineering, Seoul National University*

(Received 7 May 1999 ; Accepted 12 October 1999)

요 약

도시지역에 위치한 위해 시설 특히 가스에너지 관련 시설은 최근에 이르러 그 사고로 인해 막대한 재산 및 인명 피해를 동반하는 등 지역 주민에 위험 대상으로 등장했다. 이러한 가스에 관련된 사고의 영향을 예측하고 줄이기 위하여 위험성 평가를 이용한 종합적인 안전관리 시스템이 절대적으로 요구된다.

본 연구에서는 이런 상황들과 최근의 시대적 여건들을 고려하여 종합적인 정량적 위험성 평가 기반 구조를 구축하고 관련 모델들의 원만한 연관성을 갖게 하기 위한 개념 및 이론을 제시하였다. 이를 위해 LPG시설의 사고 시나리오에 대한 위험성을 정량화 하여 LPG 저장시설에 대한 위험성을 평가할 수 있는 방안과 정량화 된 위험성을 표현하기 위하여 개인적 위험과 사회적 위험의 활용방안을 제시하였으며 이것들을 효율적으로 지원할 수 있는 지원 프로그램의 개발을 병행하였다.

Abstract - Gas energy facilities which are located in urban areas have been shown as terrifying objects to the people who live nearby, because of increasing recent disastrous accidents. So, it is essential to develop a integrated safety management system including quantitative risk assessment in order to predict and to reduce the effect of gas accidents.

In this study, the framework of synthesized QRA(Quantitative Risk Assessment) considering the recent situation and condition was established in order to provide proper models for analysing gas accidents. The deviation of LPG storage facilities was described and then supposed incident scenarios were provided. Procedures which could assess the risk of facilities according to incident scenarios were showed and the practical application of individual risk was suggested in order to represent the quantified risk. And, a user-friendly computer program was developed to implement these methods at the same time.

Key words : LPG storage facilities, Safety management system, QRA

1. 서 론

가스 시설의 저장 및 운반특성상 고압 상태의 액체나 기체를 다루고 있어 사고 발생 시 대규모로 확대될 잠재적 위험이 매우 크며, 최근에는 부천 충전소 사고와 같은 세론의 이목을 집중시키는 대형사고가 종종 발생하고 있다. 이런 대규모 위험성에 대한 예방책으로 선진국으로부터 정부 및 안전전문기관이 주축으로 위험성 평가방법과 기준들을 시행하고 있으나 그대로 국내에 적용하는데 따른 일련의 문제들을 감수를 해야 할 것이라 사료된다.

본 연구에서는 도시 내 LPG 저장시설이 주변지역의 재산이나 인명피해를 유발시킬 가능성을 분석하고 사고시 피해 영향을 제시하고자 한다. 또한, 그 분석 결과를 이용하여 도심 및 도시외곽에 위치한 위험물 저장 및 보급시설을 예로서 이런 시설의 잠재위험과 주변지역 주민들에게 미치는 피해 도달거리와 상관되는 위험성을 표현하고자 하며, 연구한 위험성 산정 방법들을 바탕으로 개발한 전산 프로그램을 기존의 LPG 저장 설비와 과거에 사고가 발생한 설비에 각각 적용하여, LPG 저장 시설 주변지역에 대한 잠재위험을 정량화하고 위험성 수준을 평가하고자 한다.

2. 위험성 분석

2.1. 잠재위험 확인 (Hazard identification)

잠재위험 확인은 위험성 평가에서의 첫 번째 단계이고, 더 나은 잠재위험의 정량화(quantification)와 분석의 기초를 위해 이론적으로 발생할 수 있는 모든 위험 물질과 공정, 사고에 대한 정의를 포함한다. 대상지역인 LPG 저장시설에서 확인된 위험물질로 인한 잠재위험 사건은 아래와 같이 분류된다.

- 1) 주요한 LPG 저장·처리 시설의 경우에 서 폭발(BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) 과 화구(fireball)
- 2) 저장과 처리과정에서 액화된 가연성 기체

의 유출로 인한 폭발(VCE, Vapor Cloud Explosion)을 포함

- 3) 수송사고로 발생 가능한 화재와 폭발
- 4) 화재와 폭발이 발생할 수 있는 배관의 잠재위험

이 같은 조사 및 연구로부터 위험성 분석을 위해 구체적으로 확인된 잠재위험의 형태는 **화재와 폭발**이다.

2.2. 빈도 분석(Frequency analysis)

빈도 또는 확률분석은 발생할 수 있는 장치 결함의 가능성과 특별한 결과를 이끌어 낼 수 있는 사고의 가능성을 포함하고 있다. 예로 LPG 저장의 경우에 있어서 유출의 일어날 수 있는 파이프, 펌프 저장용기 등과 같은 다양한 항목의 고장 가능성은 평가될 수 있다. 발생 가능한 화재사고를 평가할 수 있는 가능성과 같이 점화원의 가능성 또한 평가될 수 있다. 여기에는 사고 발생원의 빈도를 결정할 수 있는 데이터와 각 요소의 고장 데이터, 인간의 신뢰성 자료를 필요로 한다.

빈도 분석에는 보통 FTA와 ETA를 사용하는데, FTA는 어떤 특정 예상사고에 대하여 그 사고의 원인이 되는 장치 및 기기상의 결함이나 운전원의 실수 등을 순차적 및 도식적으로 분석하고 확률적으로 검토 분석하여 사고가 발생할 확률을 예측하고 사고의 확률을 줄이기 위하여 필요한 조치사항을 찾아내는 방법이다. 그리고, ETA는 사건의 연속적, 사고를 결정하는 고장들 혹은 실수들의 연대적인 배치로써 그 결과치들은 초기 사건에 뒤따르는 사건의 연속함으로 사고 발생 가능성을 설명한다. 그러므로 특정 초기 사건에 대응하여 발생하는 안전 시스템 혹은 비상 절차를 갖춘 시스템에 매우 적합하다.

2.3. 영향 분석 (Consequence analysis)

사고 영향 분석은 주로 화재·폭발인 경우 그 재해로 인해 사람들이 입을 수 있는 피해와 시설물에 대한 피해를 다루며 위험의 정도는 방출열, 가연성 가스나 액체들이 폭발할 때의 높은 압력으로 나타낸다. 따라서, 강도

분석에서는 화재로 인한 방사열, 무한정 증기운 폭발 경우와 같은 폭발로 인한 폭발 과압력(overpressure)의 정량화를 한다.

● 화재

1) Pool fire

가연성 액체가 평탄한 면에 흘러나와 pool을 형성한 후, 그 pool의 가연성 액체가 연소 범위(flammable range)가 되었을 때 점화되면 화재로 pool 전체가 화염에 휩싸이게 된다. 사람에게 대한 주요한 위험은 생성된 높은 방사열(thermal radiation)에 대한 노출이다.

2) Jet or torch fire

Jet fire는 어느 정도 가압하에 있는 가연성 기체나 액체가 가압용기의 구멍이나 균열, 개방된 파이프의 끝부분 또는 가압 relief valve의 구멍으로부터 유출된 후 점화되었을 때 발생한다. 액체 또는 가스의 유출에 뒤따른 압력이 상당히 높고 안정된 불꽃을 생성하는 경향이 있다.

3) Flash fire

Flash fire는 가연성 기체와 증기의 혼합 구름이 점화되었을 때 발생하는데 화재의 모양은 점화가 일어나기 전의 구름의 형태뿐만 아니라 구름 내에서 점화원이 발생한 위치에 밀접하게 관련되어 있다. 연소속도는 구름 내 가연성 물질의 농도와 풍속에 달려있다. 구름이 여전히 유출지점에서 확장되는 동안에 구름의 점화가 발생할 수 있는데 이러한 환경 아래에서 유출의 특성에 따라 pool fire 혹은 jet fire가 일어날 수 있다. 또한 연소가 상당히 빠른 속도로 가속화된다면 폭발을 가져올 가능성도 있다.

● 폭발(Explosion)

일반적으로 폭발이란 아주 빠른 에너지의 누출로 인해 충격파가 생성되는 것을 의미한다. 재해를 유발 시킬수 있는 것으로는 비산물과 shock wave, thermal radiation으로 대별 될 수 있다. 이들에 따른 잠재위험의 형태는 physical explosion, VCE 그리고 BLEVE 등이 있다.

1) VCE

많은 양의 휘발성, 가연성 물질이 공기 중

으로 유출되었을 때 증기운(vapor cloud)이 형성되고, 퍼져 나간다. 만약 이러한 증기운이 LFL(Lower Flammable Limit) 아래로 희석되기 이전에 인화된다면, VCE 또는 flash fire가 발생한다. VCE의 주 강도는 충격파가 되며, flash fire의 주 강도는 thermal radiation이 된다.

VCE model 중 가장 일반적인 것이 TNT model 이다.

$$W = \frac{\eta M E_c}{E_{cTNT}}$$

여기서, W = equivalent mass of TNT(Kg or lb)

M = mass of flammable material released

η = empirical explosion yield (or efficiency)(ranges from 0.01 to 0.1)

E_c = lower heat of combustion of flammable gas(kJ/kg or Btu/lb)

E_{cTNT} = heat of combustion of TNT(4437-4765 kJ/kg or 1943-2049 Btu/lb)

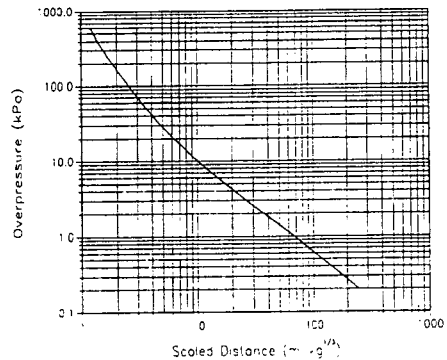


Fig. 1. Correlation between overpressure and scaled distance, SI units.

그림 1은 과압력과 환산거리(scaled distance)와의 관계를 나타낸 것이며, 다음 식을 이용하여 실제 영향거리를 계산한다.

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

여기서, R = 실제 영향거리

Z = 환산거리

2) Physical Explosion

압축가스가 담긴 용기가 깨졌을 경우 에너지가 방출될 것이며, 이 에너지는 충격파(shock wave)를 방출하고, 비산물들을 날려 보낸다. 만약 내용물이 가연성이라면 방출된 가스는 인화되고 그에 따른 영향들을 유발시킬 수 있다.

Baker는 작은 규모의 실험을 통해 가스로 가득찬 용기의 파열시 발생하는 과압을 계산할 수 있는 식에 대해 기술하였다.

$$W =$$

$$1.4 \times 10^{-6} V (P_1/P_0) (T_0/T_1) R T_1 \ln (P_1/P_2)$$

여기서, W = energy in lb TNT

V = volume in compressed gas, ft³

P₁ = initial pressure of compressed gas, psia

P₂ = final pressure of expanded gas, psia

P₀ = standard pressure, 14.7 psia

T₁ = temperature of compressed gas, °R

T₀ = standard temperature, 492 °R

$$R = \text{gas constant, } \frac{1.987 \text{ Btu}}{\text{lb mol} \cdot ^\circ \text{R}}$$

이다.

3) BLEVE

BLEVE란 대기 중으로의 많은 양의 압축 과열액체의 갑작스런 방출로 인해 발생한다. 일반적인 원인은 보통 바깥으로부터 불꽃이 용기외부(vapor space)에 가해지면서 container가 약해지며 갑작스런 용기의 파열로부터 발생한다. BLEVE가 발생했을 시는 압력파(pressure wave)와 비산물들을 발생시키며, 누출된 액체가 가연성이라면 fireball이 발생된다. 바로 잘 알려진 형태의 BLEVE가 바로 LPG의 폭발이다.

Target으로부터 얻어진 radiation(for the duration of the BLEVE incident)에 관한 식은,

$$Q_R = \tau E F_{21}$$

여기서, Q_R = radiation received by a black body target(kW/m²)

τ = transmissivity(dimensionless)

E = surface emitted flux(kW/m²)

F₂₁ = view factor(dimensionless)

이다.

이상과 같이 target에 thermal radiation이 미치는 거리는 다음과 같이 정리되며, 거리는 trial and error방법을 사용하여 구한다.

$$\begin{aligned} \frac{Q_R}{E} &= \tau F_{21} \\ &= 2.02 \left[P_w \left(\sqrt{H^2 + x^2} - \frac{D}{2} \right) \right]^{-0.09} \frac{D^2}{4x^2} \end{aligned}$$

3. 위험성 평가

Effect model의 기법을 이용하여 사고의 피해결과를 평가를 한다. 인간에게 미치는 영향을 평가하기 위해 결과를 사망 또는 피해로 표시 할 수 있다. 구조물과 건물같은 물리적 재산일 경우 결과는 금융 손실이 될 것이다.

3.1. 열 효과 (Thermal effect)

열 효과 모델링은 열 복사 사고 결과로 인해 사람과 물건에 미칠 가능성이 있는 피해나 손상을 예측하는 것이다.

Eisenberg등은 가해진 thermal radiation에 따른 수준을 산정하기 위해 probit model을 제시하였다.

$$Pr = -14.9 + 2.56 \ln \left(\frac{t I^{4/3}}{10^4} \right)$$

여기서, Pr = probit

t = duration of exposure(sec)

I = Q_R/1000 = thermal radiation intensity(W/m²)

여기서 구해진 probit값은 표 1 을 통하여 사망율로 바꿀 수 있다.

Table 1. Transformation of probits to percentage.

%	0	2	4	6	8
0	-	2.95	3.25	3.45	3.59
10	3.72	3.82	3.92	4.01	4.08
20	4.16	4.23	4.29	4.36	4.42
30	4.48	4.53	4.59	4.64	4.69
40	4.75	4.80	4.85	4.90	4.95
50	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20
60	5.25	5.31	5.36	5.41	5.47
70	5.52	5.58	5.64	5.71	5.77
80	5.84	5.92	5.99	6.08	6.18
90	6.28	6.41	6.55	6.75	7.05
99	7.33	7.41	7.46	7.65	7.88

3.2. 폭발 효과 (Explosion effect)

폭발효과 모델은 사람과 물건에 미치는 폭파 과압 및 파편 비산을 예상하는 것이며, 폭발효과 모델은 TNT 폭발 모델링을 토대로 한다. 폭발 및 파편 비산 효과 모델의 장점은 실험 자료와 단순한 방법을 토대로 한다는 점이다.

폭발로 인한 overpressure는 짧은 순간에 사람이나 구조물에 심각한 피해를 유발시킬 수 있다. 이런 overpressure로 인한 영향은 화재와 마찬가지로 probit function을 사용하여 계산이 가능하다

3.3. 개인적 위험성 (Individual risk)

개인적 위험성은 위험원 근처에 있는 개인에 대한 위험으로서 정의했으며, 개인에 대한 부상의 형태와 부상이 발생하는 확률 그리고 부상이 발생하는데 걸리는 시간을 포함하고 있다. 그러나 부상에 대한 관심은 매우 높지만 부상의 정도를 표현할 수 있는 데이터는 제한되어 있다. 따라서 위험성을 비가역적인 부상 또는 사망에 대한 위험으로 계산할 수 있다.

개인에 대한 사망위험의 정의에 따르면 단일 사고에 의한 개인적 위험성과 사고 결과의 형태는 다음의 기본적인 표현식을 적용한다.

$$I = P_h \times P_c \times P_o$$

여기서, I 는 개인적 위험성, P_h는 사고결과에 대한 발생 확률, P_c는 개인이 정해진 구역

에서 사고로부터 규정된 부상의 정도를 당할 확률, P_o는 개인이 사고가 발생했을 때 장소에 있을 확률이다.

3.4. 사회적 위험성(Societal risk)

사회적 위험성(societal risk)은 대중에 미치는 위험을 측정하는 것으로 개인적 위험성과 유사하게 다양한 사고들의 빈도 분포의 형태로 표현한다.

개인적·사회적 위험성은 같은 사고빈도와 사고 결과를 조합하여 다르게 표현하는 것으로 위험을 감소시키는 방법에 대한 효율적인 평가와 절대 향으로 시설의 허용도를 판단하는데 중요하게 사용할 수 있다.

단일 사고에 대한 사회적 위험성에 대해서는 정해진 시간동안에 규정된 부상의 정도를 입을 수 있는 확률(S)과 사람 수(n)를 이용하여 계산한다.

$$S = P_h$$

$$n = \sum P_c P_o$$

4. 정량적 위험성 평가 프로그램

본 정량적 위험성 평가 프로그램은 Boland사의 Delpi 3.0으로 개발되었으며, 평가를 위해서 대상 시설물에 대한 정보들과 기상조건 및 사고 시나리오 등을 사용자들로부터 직접 입력받도록 설계되었다.

정량적 위험성 평가 시스템의 초기화면의 구성은 다음과 같다.

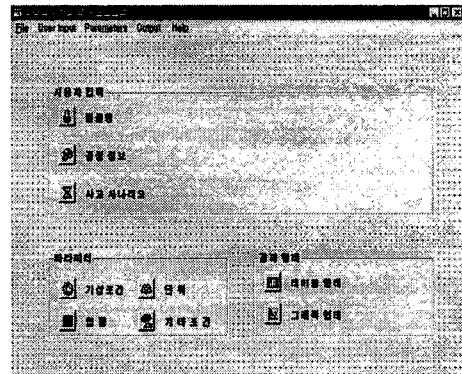


Fig. 2. Initial picture of quantitative risk assessment program.

그림 2의 초기화면은 사용자 입력, 파라미터, 결과형태로 나누어지며, Windows의 환경에서 수행할 수 있어서 사용자가 쉽게 사용할 수 있다.

초기화면에서 물질명에 대한 아이콘을 클릭하게 되면 대상 물질에 대한 정보를 입력받는 창이 뜨게 된다. 입력창에서 요구하는 정보들을 입력하고 저장을 한 후에 빠져 나오면 된다. 공정 정보와 기상 조건도 물질에 대한 정보를 입력한 것처럼 같은 방법으로 입력하고 창을 빠져 나오면 된다.

그림 3의 사고 시나리오에 대한 화면은 사용자가 저장 용기의 형태와 시나리오의 유형, pipe의 직경, 라인의 길이 등을 입력하여 주는 창이다.

파라미터 창에서 단위를 클릭하여 필요한 단위들을 찾아서 지정하여 주면 계산이 끝난 후 원하는 단위로 결과값이 나오게 된다. 또한 맵핑에서는 사용자가 평가하려는 대상 시설물과 관련된 지역의 지도를 BMP 파일로 저장하여 주면 위험성 평가의 결과값을 지도상에 도식할 수 있다.

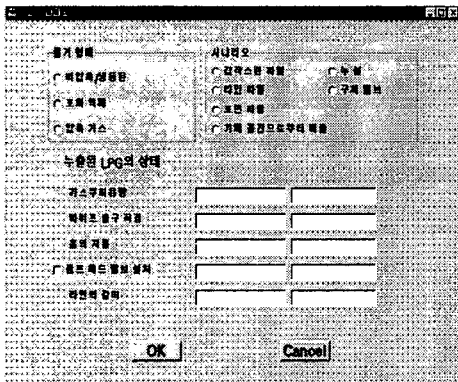


Fig. 3. Picture of accident scenario.

결과는 테이블과 그래픽 두 가지 형태로 표현이 되므로 사용자가 원하는 결과값을 취하면 된다.

5. 적용

본 연구는 LPG 저장·충전시설에 존재하는 잠재위험을 우선적으로 파악하고, 잠재위험이 사고로 전개되어 저장·충전시설 주변에 미치는 위험성을 정성적·정량적 평가 방

법으로 접근하여 보았다. 그리고 연구·검토한 결과를 국내 LPG 저장·충전시설에 적용하여 본 연구의 타당성 및 응용성을 검증하여 보았다. 사례검토 대상공정은 한국가스안전공사의 도움을 받아 인천광역시 소재 ○○ LPG 충전 업체를 탐방·조사하였으며, 조사 결과 얻은 자료 및 공정도면을 토대로 연구과정을 수행하였다.

HAZOP Study 결과 LPG 누출 사고를 야기할 수 있는 잠재위험으로는 파이프 라인 계통의 파열에 의한 누출 사고와 외부 열원에 의한 저장탱크의 파열, 적재/적하 (loading/unloading) 작업시 조업자 실수에 의한 사고 등이 가장 큰 LPG 누출 사고 원인으로 밝혀졌으며, 초기 설계 단계에서의 오류 (error)도 무시할 수 없는 사고 발생원인으로 밝혀졌다. 따라서 LPG 저장시설의 경우 정기적인 파이프 라인 점검과 보수가 필요하며, 적재/적하 작업시 오류를 줄이기 위한 조업자 교육이 필요하다고 사료된다.

또한 FTA 방법과 ETA 방법을 이용하여 LPG 누출 사고의 전개 과정을 살펴본 결과, 지하 저장탱크의 경우 LPG 누출사고가 발생할 경우 그 폭발 형태는 VCE와 flash fire로의 전개가 가장 큰 확률을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 지상 저장탱크의 경우 VCE와 외부 열원에 의한 BLEVE 그리고 pool fire에 의한 thermal effect가 가장 큰 피해 발생원인으로 밝혀졌다.

5.1. LPG 충전시설에 대한 사고 빈도 선정

FTA 방법을 이용한 빈도 분석 결과 LPG 누출사고가 발생할 빈도(frequency)는 약 $5.42 \times 10^{-2}/\text{yr}$ 정도로 나타났으며, ETA 결과 LPG 누출사고가 VCE 형태의 폭발사고로 발전될 수 있는 빈도는 약 $2.19 \times 10^{-2}/\text{yr}$ 정도로 나타났다.

5.2. LPG 충전시설에 대한 사고결과 산정

LPG 누출에 의한 피해거리를 산정하기 위하여 LPG 누출 직경이 5cm, 10 cm, 최대일 경우에 대하여 피해거리를 산출하였다. 계산 과정상 LPG 총 누출량은 사고 후 5분으로 고정하여 계산하였으며, 계산 과정에서 사용한 데이터는 아래와 같다. 각각의 직경에 대한 시간당 누출량과 총 누출량은 표 2에 표현하였다. LPG 누출에 의한 실제 피해 거리

(real effect distance)를 치사율 100 %에 따른 피해거리를 표현하면 표 3와 같다.

- C_0 (누출계수)는 0.8로 한다.
- η (실험적인 폭발계수)는 0.08로 가정한다.
- E_C : LPG의 연소열 (46,350 kJ/kg)
- E_{CTNT} : TNT의 연소열 (4,647.6 kJ/kg)

Table 2. Release quantity and total release quantity per LPG for release time 5min.

누출지점	hole의 누출 직경 (cm)	시간당 누출량 (kg/sec)	총 누출량 (ton)	TNT 당량
Tank #1	5	41.1	12.3	9.8
	10	164.4	49.3	39.4
	Max.		425	339.0
Tank #2	5	41.1	12.3	9.8
	10	164.4	49.3	39.4
	Max.		425	339.0
파이프 80A (mm)	d/2 (4)	26.3	7.89	6.2
	d/4 (2)	6.58	1.97	1.57
tube 50A (mm)	5	41.1	12.3	9.8

Table 3. Effect distance for 100% mortality.

	Tank #1			Tank #2			파이프 80A		튜브 50A
	5	10	Max	5	10	Max	4(d/2)	2(d/4)	
누출 직경 (cm)	5	10	Max	5	10	Max	4(d/2)	2(d/4)	5
피해 거리 (m)	33.9	53.9	119.2	33.9	53.9	119.2	29.13	18.4	33.9

5.3. LPG 저장 시설의 개인적 위험성 평가

본 연구에서 사례 검토 대상 공정으로 선정된 대형 LPG 저장·충전 업체에 대한 개인적 위험성을 평가한 결과 그림 4와 같이 표현할 수 있다. 산정과정에서 LPG가 누출되어 폭발할 경우 VCE 형태로 폭발한다는 가정하에 사고결과와 빈도 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 LPG 저장·충전 시설에 존

재하는 잠재위험을 우선적으로 파악하고, 잠재위험이 사고로 전개되어 저장·충전 시설 주변에 미치는 위험성을 정성적·정량적 평가 방법으로 접근하여 보았다. 그리고 본 연구에서 구축한 프로그램을 국내 LPG 저장·충전 시설에 적용하여 타당성 및 응용성을 검증하여 보았다.

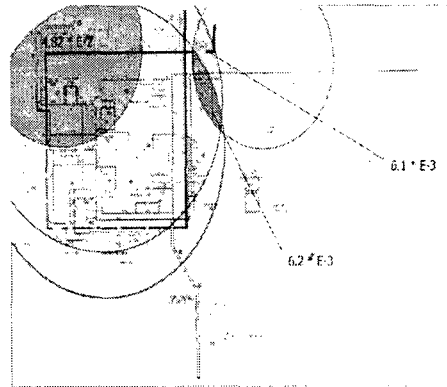


Fig. 4. Individual risk for LPG storage facility.

6. 결 론

1. LPG 저장시설에 대한 잠재 위험을 확인하기 위해서 조사되어야 할 사항들을 살펴보고 확인할 잠재 위험 사건의 형태들을 추론하였다. 그리고 부식 또는 손상, 구조 결함 등의 이유로 전송 배관이 파손되고 발화원의 출현에 의해 일어날 수 있는 화재나 폭발의 결정적인 원인을 제시하였다.
2. 위험성 평가를 위해 확률 혹은 빈도분석의 특징들을 살펴보고, FTA와 ETA 등의 빈도분석 방법에 대해 논하였다.
3. 화재로 인한 방사열, 무한정 증기운 폭발 경우와 같은 폭발로 인한 폭발 과압력의 정량화를 위한 잠재 위험의 강도 분석 방법에 대하여 연구하였고 사고의 영향을 평가하기 위하여 effect model을 이용하였다.
4. 잠재위험의 영향들에 대한 model 및 빈도 분석과 강도분석을 이용한 개인적 위험성과 사회적 위험성 평가에 대하여 연구하였다.
5. 본 연구방법을 Boland사의 Delphi 3.0을 이용하여 정량적 위험성 평가를 위한 program 개발 및 개발된 program을 이용

하여 LPG 저장시설에 대하여 위험성 평가를 수행하였다.

6. 본 연구에서 구할 수 있는 위험 수치는 LPG 저장시설의 인·허가 업무에 있어서 기준치로서 사용할 수 있을 것이며, 또한 각종 LPG 저장시설 주변지역의 주민을 보호하는 안전 관련 법규에서 요구하는 위험성 기준 등에 활용될 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구(과제번호:961-1109-052-2) 지원과 포항공과대학교 지능자동화 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터지원에 의하여 수행하였으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. CCPS; "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", NY, (1989).

2. Pieteron, C. M. and Huaerta S. C.; "Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City, 19 Nov. 1984", TNO Report, Netherlands, (1985).
3. Pitblado, R. M.; "Consequence Models for BLEVE Incidents", Major Industrial Hazards Project, Warren Center for Advanced Engineering, University of Sydney NSW 2006, Australia, (1986).
4. 윤인섭; "국내외 안전 현황", 제23회 화학공학 계속교육, 서울대학교 공과대학 화학공학과, (1994).
5. 고재욱 등; "석유화학단지의 위험성 평가 및 주변지역의 토지이용 안전 계획", 한국과학재단, (1993).
6. 고재욱 등; 한국산업안전학회지, 8(2), 87(1993).
7. 백종배; 박사논문, 광운대학교, (1996).