

LPG 저장 시설에 대한 위험성 평가

고 재 욱
광운대학교 공과대학 화학공학과

Risk Assessment for LPG Storage Facility

Jae Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University

서 론

오늘날 가스 연료는 가장 대중적이고 편리한 연료로써 거의 모든 국민의 생활연료로 자리잡고 있다. 그리고 충전의 취사용, 택시용 등의 이용도가 한정돼 있던 가스가 최근에는 가스 보일러, 냉방용, 산업용, 자동차용 등 각 분야에서 다양한 형태로 사용되고 있으며, 국민생활과 산업활동에 없어서는 안될 중요한 역할을 하고 있는 것이 사실이다. 특히, 근래에 들어 도심 깊숙이 까지 위치하고 있는 LPG 저장·충전시설, 도시가스 배관망 등의 시설은 더욱 증가할 전망이다.

그러나 사용상의 편리성과 청정성의 이유만으로 양적인 팽창은 가져왔으나, 그에 따른 적절한 안전 대처 방안은 마련되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 LPG 저장·충전 시설 주변에 주거·활동하는 주민이나 근로자는 항상 위험한 환경 아래에서 생활하고 있다고 할 수 있다. 또한 저장 및 운반특성상 고압상태의 액체나 기체를 다루고 있어 사고 발생시 대규모로 확대될 잠재위험이 매우 많다.

따라서 본 연구에서는 화학공정의 안전성 평가에 필요한 여러 정성적 및 정량적 기법을 연구·검토하여 LPG 누출로 인한 화재·폭발 사고의 위험성(risk)을 평가하고자 한다. HAZOP Study를 통해 LPG 저장시설의 잠재위험 확인 및 잠재위험과 관련되는 사건의 진행 순서를 확인·평가하고, FTA 방법과 ETA 방법을 사용하여 사고 빈도를 산정하고자 한다. 또한 누출 모델(source model)과 영향 모델(effect model)을 사용하여 인명 피해 및 피해 거리 등 사고결과(consequence)를 산정하고, 사고 결과 분석과 빈도 분석 결과를 종합하여 LPG 저장·충전 시설 주변지역의 개인적 위험성을 평가하고자 한다. 그리고 본 연구 결과를 LPG 저장·충전 시설의 안전대책 수립, 주변 지역의 안전거리 확보 및 방재계획 등에 기본 자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

LPG 누출에 의한 화재·폭발 위험성을 평가하기 위한 총괄적인 절차는 그림 1과 같다. LPG 저장·충전 시설의 위험성 평가를 하기 위한 첫번째 단계는 저장·충전 시설이 가지고 있는 잠재위험들(hazards)을 파악하는 단계로 부터 시작한다. 본 연구에서는 HAZOP Study를 이용하여 LPG 저장·충전 시설의 잠재위험을 확인·평가 하였으며, 확인된 잠재위험을 야기할 수 있는 시스템상의 손실(failure)이나 조업자의 오류(error)에 대한 평가는 FTA(Fault Tree Analysis)³⁾와 ETA(Event Tree Analysis)를 이용하였고 이를 바탕으로 사고 발생 빈도를 산정하였다. 그리고 파이프 라인의 파열(rupture) 직경에 따른 LPG 누출량을 계산하고

영향(effect) 모델과 TNT 당량을 이용한 피해 거리 산출 방법을 이용하여 LPG 저장·충전 시설의 사고결과(consequence)를 산정하였다. 앞에서 구한 사고 발생 빈도와 사고결과를 종합하여 개인적 위험성을 산정하고 도식화하였다.

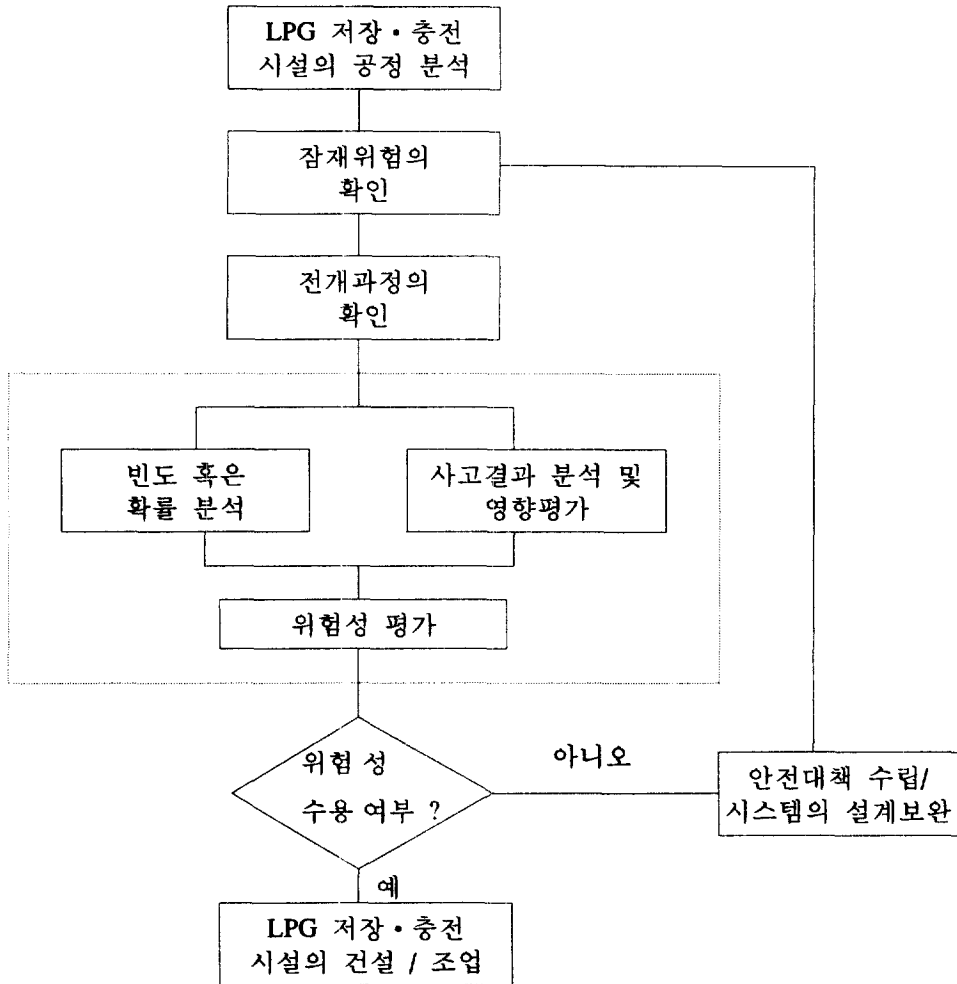


그림 1. 잠재위험 확인과 위험성 평가 과정.

사례 검토

본 사례 검토에서는 LPG 저장·충전 시설에 대한 사고 빈도 분석과 사고 결과 분석을 하고, 이를 종합하여 개인적 위험성을 산정하여 LPG 저장 시설내 근로자 및 주변지역에 거주하는 주민에게 미칠 수 있는 위험성을 평가하고자 하였다.

사례 검토 대상공정을 선정하기 위하여 대형 LPG 충전 업소인 인천 광역시 소재 ○○ LPG 충전 업체와 경기도 안산시 소재 ○○ LPG 충전 업체를 탐방·조사 하였으며, 얻은 자료 및 공정도면을 토대로 연구과정을 수행하였다.

- 시스템 묘사 (System Description)

사례 검토 대상공정은 탱크 로리(tank lorry)로 부터 받은 LPG를 지하 저장탱크에 저장한 후, 가정용 실린더 용기와 산업용 소형 저장탱크, 그리고 부탄을 사용하는 차량에 충전을 하는 사업장이다.

- HAZOP Study를 통한 잠재 위험 파악

HAZOP Study 결과 사고 발생 가능한 잠재 위험으로는 파이프 라인 파열에 의한 LPG 누출 사고와 외부 열원에 의한 저장 탱크의 파열, 적재/적하(loading/unloading) 작업시, relief valve를 통한 LPG 누출, 그리고 조업자 실수에 의한 사고 등이 확인되었으며, 초기 설계 단계에서의 오류(error)도 무시할 수 없는 사고 발생 원인으로 밝혀졌다.

- LPG 저장 시설의 사고 발생 빈도 산정

다양한 빈도 산정 방법론 중에서 연역적으로 pre-accidents를 산정하는 FTA 방법과 귀납적으로 post-accidents를 산정하는 ETA 방법을 이용하여 LPG 누출 사고를 야기할 수 있는 시스템 상의 오류를 확인하였으며, 또한 LPG 누출이 가져올 수 있는 사고의 유형을 확인하였다. HAZOP Study에서 얻은 LPG 누출을 FTA의 정상 사상(top event)으로 놓고서 fault tree를 구성하고 minimal cut set 방법을 사용하여 사고 발생 빈도를 분석한 결과 LPG 누출이 일어났을 경우 가장 큰 직접적인 원인은 적재/적하 작업 도중에 일어나는 것으로 나타났으며, 현재 실질적으로 발생하고 있는 LPG 저장·충전 시설의 사고 유형과 비슷한 결과를 산출하였다. 그리고 파이프 라인의 경우 단일 사고로 인하여 누출을 일으킬 수 있으므로 정기적인 점검 및 보수, 그리고 필요시 파이프 라인을 교체하여 항상 안전한 상태를 유지하여야 한다고 사료된다.

HAZOP Study에서 얻은 LPG 누출을 ETA의 초기 사상(initial event)으로 놓고서 event tree를 구성하여 가능성 있는 사고 유형 및 빈도를 구하였으며, LPG 누출이 일어날 경우 UVCE로 발전될 가능성이 제일 큰 것으로 나타났다.

- LPG 저장 시설에 대한 사고결과 산정

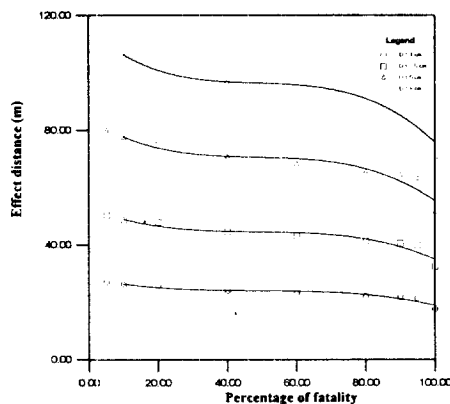


그림 2. LPG 폭발에 의한 치사율과 피해 거리.

LPG 총 누출량의 계산 과정에서는 사고 후 대피 시간(evacuation time)을 10분으로 고정하였고, 파이프의 LPG 누출 직경 1 cm, 2.5 cm, 5 cm, 8cm 경우에 대해 피해 거리(effect distance)를 산출하였다. 산출 결과를 치사율에 따른 피해 거리로 그림 2에 나타내었다.

● LPG 저장 시설의 개인적 위험성 평가

앞에서 산출된 빈도 및 사고결과를 종합하여 LPG 저장·충전 시설에 대한 개인적 위험성을 평가하여 그림 3과 같이 도식화 하였다.

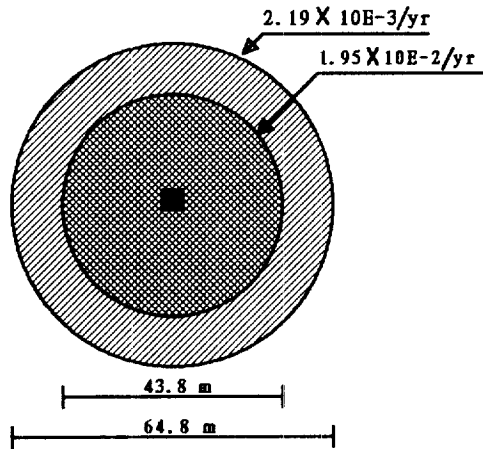


그림 3. LPG 저장 시설에 대한 개인적 위험성

결 론

본 연구는 LPG 저장·충전 시설에 존재하는 잠재위험을 우선적으로 파악하고, 잠재위험이 사고로 전개되어 저장·충전 시설 주변에 미치는 위험성을 정성적·정량적 평가 방법으로 접근하여 보았다. 그리고 연구·검토한 결과를 국내 LPG 저장·충전 시설에 적용하여 본 연구의 타당성 및 응용성을 검증하여 보았다. 본 연구 결과는 LPG 저장·충전 시설의 안전대책 수립, 주변지역의 안전거리 확보 및 방재계획 등에 기본 자료로 활용될 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Center for Chemical Process Safety, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis ", AIChE-CCPs, Newyork, 1989.
2. "Major Hazard Control ; A Practice Manual", ILO, Genova, 1990.
3. UNEP, WHO, IAEA, and UNIDO, "Procedual Guide for Integrated Health and Environmental Risk Assessment and Safety Management in Large Industrial Areas", UN, Genova.