

위험물 저장소의 중대사고시 위험성 정량화를 이용한 소방대응에 관한 연구

이정주*

노삼규**

광운대학교 건축공학과 석사과정* , 광운대학교 건축공학과 교수**

A Study on Fire-Fighting Strategies for Major Incident at Hazardous material Storages by Quantitative Risk Analysis

Jeong-Ju Lee, Sam-Kew Roh

Dept. of Architecture Engineering, Kwangwoon University

1. 서론

산업이 발전하고 에너지 소비량이 증가함에 따라, 위험물 저장시설이 늘어나고 있다. 이들 위험물 저장소에서 취급되고 있는 대부분의 물질은 가연성·인화성을 지니고 있으며, 누출에 의한 화재 및 폭발을 일으킬 가능성이 매우 높다.

LNG나 LPG 이용이 증가함에 따라 사용과정 중의 부주의나 시설미비로 인한 화재 및 폭발의 중대사고가 빈발하고 있다. 1998년 부천·익산 LPG충전소 폭발 사고를 대표적인 사례로 들 수 있다. 이러한 폭발 사고는 위험물 저장소에 대한 기술적·제도적 대책 마련이 시급함을 일깨워 주고 있다. LNG나 LPG와 같은 위험물은 화재·폭발 시 피해범위가 넓어 물적 손실뿐만 아니라, 인명피해의 대형화를 동반함으로써 화재 대응자나 인근 주민의 안전을 위협하고 있다. 그러므로 도심에 위치한 위험물질 저장소에서 가연성·인화성 물질이 누출·확산으로 인한 화재 및 폭발이 발생할 경우, 위험성 정량화 및 Real-Time을 파악하여 적절한 Fire-Fighting에 따른 소방대응 전략을 제시함으로써 화재대응자나 인근 주민의 안전을 확보하고자 한다.

2. Fire-Fighting 개요

2.1 국내 Fire-Fighting

Fire-Fighting이란 사고 현장에서 인명 및 재산 등을 보호하기 위하여 실행하는 적극적 또는 소극적인 인명구조, 소화, 연소방지, 배연, 피난유도, 기타 소방활동의 일체를 말한다.

Fire-Fighting의 기본은 소화, 연소방지활동에 의한 피해의 경감과 인명구조 활동을 통한 생명, 신체의 보호이며, 위험물화재 진압대책은 위험물의 종류 및 현장의 상황을 판단하여 Fire-Fighter 및 인근 주민의 안전 확보를 최우선으로 하며 다음과 같은 사항이 요구되어진다.

- 인명과 재산에 관계된 사고에는 관련 구조대가 출동해야 한다.
- 출동중에는 위험물질의 성질, 위험정도, 주변여건 및 기상조건 등을 파악

- 하고 접근 부서 위치, 개인보호 장구 및 사용장비를 결정 착용해야 한다.
- 도착 즉시 누설, 유출, 확산의 위험성을 인지하고 주변여건을 고려하여 경계지역, 제한구역을 설정하며, 출입제한 등 안전조치를 취해야 한다.
- 현장활동은 인명검색과 구조를 우선 실시하고, 사고의 확대와 폭발 등 2차적 재해방지에 주력하여 활동 상 필요한 정보를 수집해야 한다.
- 현장지휘소는 통제가 용이한 곳에 설치하고 현장지휘자는 대원의 안전확보, 처리 방법, 처리내용, 상황의 변화를 즉시 지휘본부 등에 보고하고 방송시설 등을 이용 홍보해야 한다.

2.2 일본 Fire-Fighting

소방활동은 인명의 구조 및 사고의 확대 및 폭발(爆發) 등 2차 재해의 방지를 중점으로, 지휘(指揮)본부장은 소방대의 활동을 통제(統制)한다.

대원의 행동은 지휘자의 통제하 및 소방활동 목적의 범위 내에 한정하고, 2명 이상으로 꼭 필요 최소한의 인원이 되도록 한다.

가스누설 범위의 추정은, 측정기, 후각 및 가스누설 화재경보 설비·기구의 작동 상황(경보, 표시)의 확인 등에 의해 실시하는 것으로 하고, 옥외등의 가스누설 사고의 경우에 있어서도, 누설가스의 비중 등 특성 및 풍향 등에 유의(留意)하여 부근의 건물 안을 포함하여 확인한다.(※소방법(소화23년 법률 제186호, 이하 '법'이라 한다) 제36조에 기초하여 법 제25조 제3항의 준용(準用))

화재 위험구역 설정 시는 가스누설 장소로부터 반경 150m의 범위에 설정한다. 즉, 설정은 주민 등에의 주지를 고려하여, 주택단지, 도로, 행정구역 등으로 지정하는 것으로 한다.(※ 반경 150m의 이유 : 과거의 폭발사례로부터, 폭발에 의해 비산물의 도달 거리를 조사·분석하여, 기준)

폭발 위험구역 설정 시 지휘본부장은, 화재경계구역 내에서 가스 농도가 폭발하한계의 30퍼센트(도시가스의 경우 폭발하한계의 1/4이상, LP가스의 경우 폭발하한계의 1/5이상)를 넘는 구역에 설정한다.

위험구역 내에서 가스 및 관로의 차단이 확인될 때까지, 소화설비 등을 활용하고, 분무주수(噴霧注水), 확산주수(擴散注水) 등에 의해 방호를 원칙으로 한다.

인명구조 및 긴급 가스의 차단 및 확산 등의 활동에는, 원칙적으로 방열복 또는 방사능 방호복 등을 착용함과 동시에 분무주수 등에 의한 방호를 하는 것으로 한다.

3. 사고시나리오

위험물 저장소에서 발생할 수 있는 주요사고는 위험물의 누출 및 그로 인한 화재와 폭발 사고로 구분될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 부천 LPG 충전소 폭발 사고를 조사·분석한 결과를 근거로 하여 사고 시나리오를 설정하였다.

본 논문에서는 국내 일반적인 Fire-Fighting의 내용을 바탕으로 누출 시나리오와 정량적 위험성 평가시 일본의 LPG의 폭발하한계(LFL)의 1/5선을 위험경계구역으로 선정 시 Real-Time의 개념을 적용한 대응 방법을 제시한다.

3.1 부천 LPG 충전소 폭발사고의 개요

안전관리 책임자 부재 시 탱크로리 운전자가 임의로 부탄탱크로리(12톤)에서 지하매몰형 부탄저장탱크(39.9톤)로 이충전 작업을 하기 위하여 액체라인과 기체라인의 로리호스 커플링을 체결한 후 가스압축기 전원스위치를 작동시키자, 불완전

하게 체결된 충전호스의 커플링이 이탈·파손되면서 다량의 액화가스가 누출되어 증발되고 증기운을 형성하여 확산되던 중 원인미상의 점화원에 의해 착화되면서 BLEVE가 발생, 탱크로리 2대 및 충전소의 시설등이 파손된 사고이다. 또한 사고발생으로부터 화재 진입까지 소요 시간은 총 2시간 56분으로서 Fig 1과 같다.

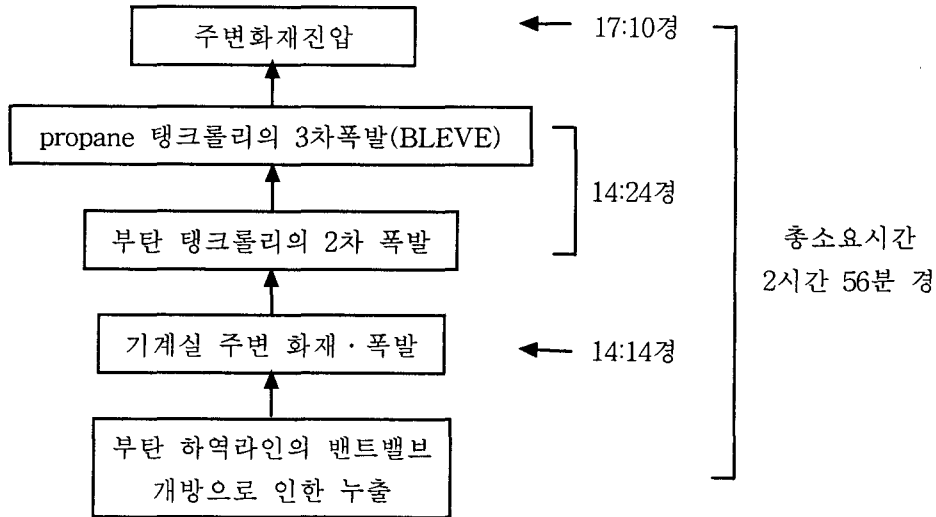


Fig. 1. 부천 LPG 충전소 화재·폭발 사고 시나리오

4. 누출 모델링 결과에 따른 Fire-Fighting

15톤 프로판 탱크로리 액상라인 커플링이 이탈하여 25mm의 홀로 프로판이 누출되었을 때, 누출시간에 따른 폭발하한계(LFL) 1/5이 미치는 거리는 [표 1]와 같다. 또한, Fig 2에서는 프로판 누출시에 폭발하한계 1/5이 미치는 영역으로서 누출지점으로부터 바람이 부는 방향으로는 최대 349m 이고, 좌우로는 최대 162m로 산출되었다. 따라서, Fire-Fighting시 최소한의 안전을 확보하기 위해서 폭발하한계(LFL)의 1/5선을 유지하여야 한다.

표 1. 누출시간에 따른 폭발하한계의 1/5선에 도달하는 거리

| 누출시간 | 폭발하한계의 1/5선에 도달하는 거리 |
|--------|----------------------|
| 1분12초 | 50 m |
| 2분 | 100 m |
| 4분30초 | 150 m |
| 5분42초 | 200 m |
| 7분28초 | 250 m |
| 8분55초 | 300 m |
| 11분24초 | 349 m |

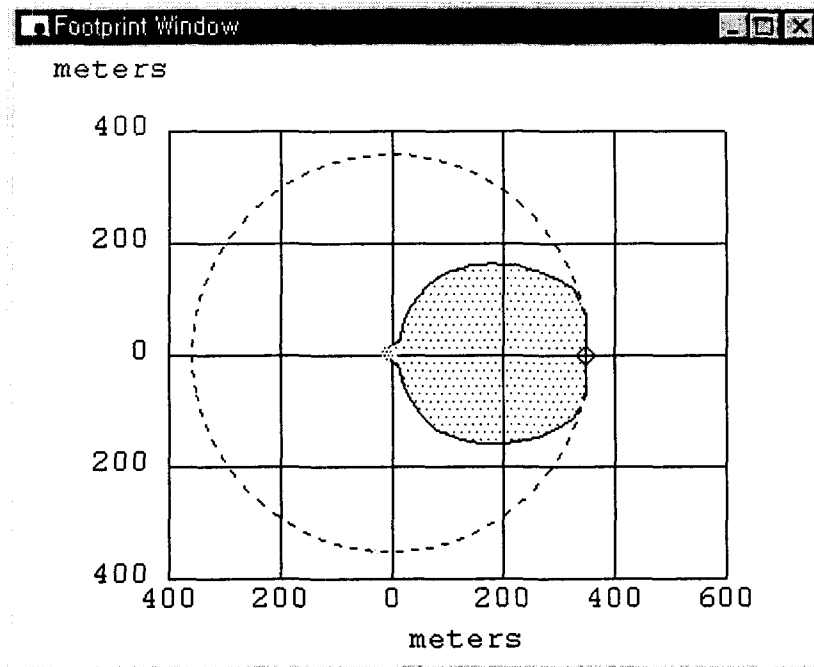


Fig. 2. 폭발하한계(LFL) 1/5에 미치는 거리

5. 정량적 위험성 평가 결과에 따른 Fire-Fighting

정량적 위험성 평가(Quantitative Risk Assessment)란 위험물저장소 내 존재하는 잠재위험들(hazards)을 적절한 방법들을 이용하여 평가한 후 그 상대적 위험도를 수치화 하여 비교·평가하는 것을 의미한다.

본 논문에서는 PHAST 모델링을 통한 15톤 프로판 탱크로리에서 BLEVE에 따른 방출열 산출 결과는 [표 2]과 Fig 3와 같다. 따라서, Fire-Fighting 시에 25.0kw/m^2 (1분 이상 노출시 100% 치사)의 방출열이 미치는 거리 밖으로 인근주민, 작업자, 소방관들의 대피가 요구된다.

표 2. 15톤 프로판 탱크로리의 BLEVE 발생시 피해범위

| RADIATION EFFECT : BLEVE / FIREBALL (1.5;D) | |
|---|-------------|
| Radiation levels[kw/m ²] | Distance[m] |
| 37.5 | 105 |
| 25.0 | 140 |
| 12.5 | 190 |

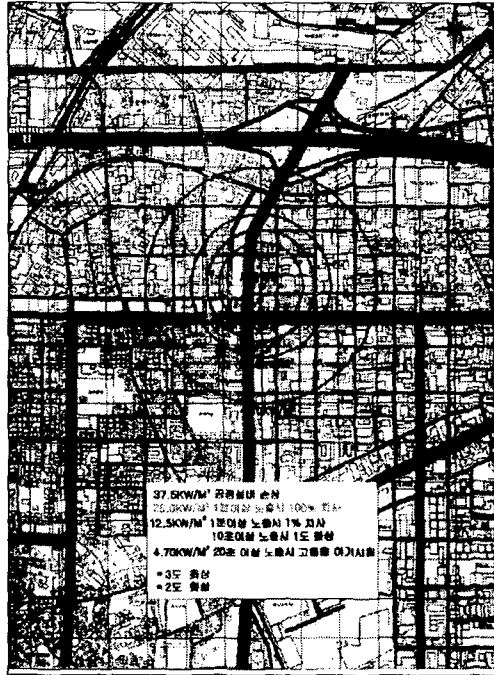


Fig. 3. 탱크로리의 BLEVE 결과

6. 결론

위험물 사고는 일시에 순간적으로 발생하며 긴급한 대응을 필요로 한다. 그러나 위험물 사고 시 누가, 어떻게 대응할 것인가가 명확하지 않고 피해를 줄여야 한다는 인식은 있으나 실제로 사고가 발생하면 누가 어떻게 진압·수습할 것인가는 체계화되어 있지 않으며, 국내·외 Fire-Fighting은 Real-Time의 개념을 활용한 소방 대응이 아닌 일반적인 소방대응이라 할 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서는 위험물질 저장소 내에 있는 인접부지 경계사이의 잠재 위험성을 확인하고 저장 탱크의 화재 및 폭발에 따른 정량적 위험성 평가를 산정하여 위험물 저장소 주변에 인접해 있는 대중과 공공 시설에 어느 정도의 영향을 미치는가를 산정하고, 화재 및 폭발이 발생할 경우 중대 사고의 위험성 진행과정을 정량하여 Real-Time을 판단하고 적절한 Fire-Fighting을 수행함으로써 화재 대응자 및 인근주민에 대한 안전을 최대한 확보할 수 있는 대책을 마련하고자 하였다.

참고문헌

1. “소방학 개론”, 1989, 최중태, 일진사.
2. “화공안전공학”, 1994, 전성균외 3인 대영사.
3. “소방전략 1997”, 소방장 서울특별시 소방학교.
4. “소방전략 1998”, 소방장 광주소방학교.
5. “자위소화활동 매뉴얼(일본판)”, 1983, 전국가스법령출판사.
6. “석유류 저장탱크의 소방 대책에 관한 연구”, 경희대학교 1990 석사학위.

7. “한국 소방행정 실태분석과 그 발전방안에 관한 연구”, 동국대학교 1997, 석사학위.
8. “화학공정의 위험성 평가를 위한 화재 폭발 지수 산정에 관한 연구”, 광운대학교 1993 석사학위.
9. “FTA기법을 이용한 LPG 저장탱크 폭발원인 분석”, 동국대학교 1990, 석사학위.
10. “LPG 연료의 연소 특성과 화염전파에 관한 연구”, 한양대학교 1998, 석사학위.
11. “확산모델을 이용한 LPG 누출 시 폭발영향평가”, 충북대학교 1997, 석사학위.
12. “LNG저장탱크 누출 사고 시 화재위험범위 평가에 관한 연구”, 서울대학교 1992, 석사학위.
13. “실시간 유출류 확산 모델링에 관한 연구”, 부경대학교 1997 박사학위.
14. “액화석유가스 저장 및 충전소의 위험성 평가에 관한 연구”, 삼성화재 사고예방논문, 노삼규, 1998.
15. “LPG 판매업소의 위험성 제어계획”, 한국화재 소방학회지, 노삼규, 1998.
16. “도시지역 LPG충전소 중대사고와 안전 이산거리에 관한 연구”, LPG 충전소 사고예방 세미나 논문집, 노삼규, 1999.