

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.4.577>

JCCT 2023-7-70

## LPG 충전소의 가스누출에 따른 피해예측 및 감소방안

### Predicting and Preventing Damages from Gas Leaks at LPG Stations

양용호\*, 공하성\*\*

YANG-HO YANG\*, HA-SUNG KONG\*\*

**요약** 이 연구는 LPG 충전소의 가스누출로 발생이 예상되는 화재 및 폭발에 따른 피해예측에 ALOHA 프로그램을 적용 영향범위와 거리를 도식화함으로 피해방지 방안을 제시하였다. LPG 충전소에서 프로판 가스가 누출될 경우 LPG 충전소 주변지역 주민들에게 호흡곤란 등의 인명피해 및 건물파괴 등 재산피해를 입히는 것으로 나타났다. 이의 감소방안으로 첫째 LPG 충전소의 위험물안전관리자는 수시로 계측기와 안전밸브가 제대로 작동하는지 점검하여 누출을 사전에 방지할 필요가 있다. 둘째 LPG 충전소에서 저장탱크에 충전하는 작업은 위험물안전관리법 규정에 따라 “위험물안전관리자 교육”을 받고, 소방관서에서 “위험물안전관리자”로 선임된 사람의 책임하에 해야 한다는 것이다. 셋째 LPG차량의 과충전 방지장치 등 각종 안전장치의 기능을 평상시 정기적으로 점검할 필요가 있다. 마지막으로 LPG 충전소에 가스가 누출될 때 정전기에 의해 화재가 발생할 수 있으므로 정전기를 방지할 수 있는 작업복·작업화를 착용하는 등의 조치로 정전기발생을 억제하는 것이 바람직하다.

**주요어** : LPG 충전소, 가스누출, ALOHA, 시나리오, 복사열

**Abstract** This study applied ALOHA Program to predict the damage caused by fire and explosion predicted to occur from gas leakage at LPG stations and presented plans to prevent damages by diagramming the impact range and distance. The propane gas leakage from LPG stations causes human damage like breathing issues and property damage, including building destruction to residents in the surrounding areas. As a way to reduce this, first, the hazardous substance safety manager of the LPG station needs to check frequently whether the meters and safety valves are working properly to prevent leakage in advance. Second, the LPG stations' storage tanks should be worked by the person who received “hazardous substance safety manager training” under the provisions of the Act on the Safety Control of Hazardous Substances and has been appointed as a “hazardous substance safety manager” by the fire department. Third, LPG station's various safety device functions, such as overfill prevention devices, must be checked on a regular basis. Finally, wearing work clothes and shoes that prevent static electricity at LPG stations is highly recommended, as static can cause a fire when gas leaks.

**Keywords** : LPG station, gas leakage, ALOHA, scenario, radiant heat

#### 1. 서론

국내에 설치되어 있는 가스충전소는 2021년 현재 총

2059개이다[1]. 2023년 1월 기준 LPG차량 총 보급대수는 약 1,913,909대이며 승용차는 1,717,853대, 승합차는 64,149대, 화물차는 131,158대 이다[2].

\*정회원 우석대학교 소방방재학과 박사과정(제1저자)  
\*\*정회원, 우석대학교 소방방재학과 교수(교신저자)  
접수일: 2023년 5월 15일, 수정완료일: 2023년 5월 30일  
게재확정일: 2023년 7월 5일

Received: May 15, 2023 / Revised: May 30, 2023

Accepted: July 5, 2023

\*Corresponding Author: 119wsu@naver.com

Dept. of Fire and Disaster Prevention, Woosuk Univ, Korea

도심지의 중심지에 가스충전소가 있는 경우 사람의 부주의나 시설의 노후화로 인한 전기적인 원인 및 가스 누출 등으로 LPG 저장탱크가 폭발하는 현상이 발생 할 경우 비등액체팽창증기폭발(BLEVE, Boling Liquid Expansion Vapor Explosion), 증기운 확산(VCD, Vapor Cloud Dispersion), 제트화재(Jet Fire), 증기운폭발(UVCE, Vapor Cloud Explosion) 등으로 나타날 수 있다. 국내의 폭발사례를 살펴보면 2022년 11월 16일 대구 서구 증리동에 있는 LPG 충전소가 갑자기 폭발하면서 8명이 부상하였다[3]. LPG폭발로 피해가 크게 발생했던 사례는 1998년 9월 11일 경기도 부천시 오정구 내동 LPG 충전소에서 액화석유가스가 폭발했던 사고로 1명이 숨지고 96명의 부상자가 발생하였다[4]. 외국의 폭발사례를 살펴보면 1984년 11월 멕시코 멕시코쿠두 틀랄 네판틀라 데 바스의 산 후안 익스와테펙에 있던 국영 페멕스 LPG 가스저장시설에서 일어난 폭발사고로 1980년 최악의 재해로 손꼽히는 사고이다[5].

기존 선행연구를 분석하면 이순범과 공하성(2022)의 연구에서는 고등학교 급식소 소형 LPG 저장탱크의 비등액체팽창증기폭발(BLEVE)과 증기운 폭발(VCE)에 따른 피해 예측 분석으로, 화재 및 폭발사고를 예방할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있는 방안에 대하여 연구하였다[6]. 김혜림 외 2명(2017)의 연구에서는 국내 외에서 발생한 가스사고 가운데 충전소에서 일어난 사고사례 통계들을 제시 사고예방 및 피해완화를 위한 안전관리 방안의 기초자료로 제공하고자 하였다[7]. 임사환과 허용정(2009)의 연구에서는 국내 LPG 충전소에서 설치되어 있는 저장탱크의 53%에 해당하는 20ton 용량 이상 저장탱크에서의 누출로 인한 폭발사고가 발생할 경우 주변의 인체에 미치는 피해 영향을 예측하고자 하였다[8]. 박명섭 외 6명(1999)의 연구에서는 LPG 저장 충전시설에 존재하는 잠재위험을 우선적으로 파악하고, 잠재위험이 사고로 전개되어 저장 충전시설 주변에 미치는 위험성을 정량적평가(QAM, Quantitative Analysis Methods) 방법으로 접근하였다[9]. Qingtao Zhang 외 6명(2019)의 연구에서는 가스탱크 폭발시 발생하는 VCE(증기운폭발)의 결과를 분석하고, 개인 및 사회적 위험을 식별하기 위해 정량적 위험 소프트웨어를 사용 가스탱크 위치, 계획 및 조치를 어떻게 취해야 하는지 여부에 대한 결정의 이론적 데이터를 제공했다[10].

기존의 이순범·공하성의 연구에서는 ALOHA를 적용

하여 고등학교 급식소 LPG 소형저장탱크의 비등액체 팽창증기 폭발과 증기운 폭발에 따른 학교내의 피해 예측 분석을 연구목적으로 설정하였다.

반면, 이 연구에서는 도심지 내 LPG 저장탱크 가스 충전소의 관계인 '소방안전관리자 등의 부주의로 가스시설 저장탱크에서 직접 또는 간접적으로 연결되는 노후된 밸브 및 외부충격으로 가스가 누출되어 형성된 증기운 등이 주변의 점화원에 의하여 순간적으로 화재 및 폭발 결과 건물 및 주민들에게 줄 수 있는 피해를 예측 분석 ALOHA 프로그램을 적용하였다.

LPG 차량 등의 증가로 가스충전소가 설치된 주변 지역의 경우 폭발 위험수준에 대한 평가결과는 저장탱크의 크기, 저장물질의 양, 복사열이 미치는 범위, 충전소의 시설기준, 지형 및 기상조건, 폭발영향 등에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 이 연구에서는 ALOHA 프로그램을 적용 도심지 내 가스충전소 LPG 저장탱크의 폭발 또는 화재 발생시 인접 건물 및 주민에게 어느 정도의 피해를 주는지에 대하여 그 위험성을 예측함으로써 폭발로 인한 피해범위를 산출하고, 영향범위 내 피해 자료로 활용함과 동시에 피해방지 방안 대책을 세우는데 그 목적이 있다.

## II. 피해예측 시뮬레이션

### 1. 시뮬레이션 선정

피해예측 시뮬레이션에 적용하는 ALOHA는 미국의 해양대기국(NOAA)이 개발하여, 환경보호청(EPA)과 공동으로 활용하는 피해예측 프로그램으로서 EPA 홈페이지에서 무료로 배포하고 있다. 2가지 모델을 사용 화학물질별 영향범위를 자동으로 산정하는데 첫째는 GAUSSIAN 모델로서 일반적인 경우에 적용하며, 둘째는 DEGADIS 모델로서 공기보다 무거운 가스 또는 극저온 가스에 적용한다. ALOHA의 모델 결과는 Google Earth 프로그램과 호환되어 피해영향 범위를 지도상에 표현할 수 있다. ALOHA는 기상조건으로 풍속(Wind Speed), 풍향(Wind is from), 대기안정도(Atmospheric Stability) 및 지면거칠기(Ground Roughness)를 고려하여 평가한다. ALOHA에서 액체 또는 기체 누출에 적용하는 누출조건은 액면(Pool), 용기(Tank), 배관(Pipe)이 있다. 그러나 물질과 물질의 혼합물은 적용이 불가능하고, 입체적인 3차원적 농도분포 계산이 불가능하다는

단점이 있다. 예를 들어 프로판의 경우 ALOHA 적용시 기상누출(Burning-Jet Fire) 액상누출(Burning-Jet Fire) 액상누출(Not Burning-독성, 증기운확산, 증기운폭발) 액상누출(BLEVE) 적용하여 주변지역 영향범위 및 거리를 파악 할 수 있다.

## 2. 모델링 대상 LPG 충전소

LPG 충전소는 서울특별시 어느 구에 있고, 그림 1과 같이 충전소의 앞 도로의 폭은 25m이다. 1994년도에 사용승인을 받았으며, 용도는 위험물저장및처리시설로서 현재는 택시·자가용 등에 LPG가스를 공급하고 있다. 층수는 지하1층·지상1층이고, 건물구조는 철근콘크리트조이다. 충전소를 중심으로 전면을 제외하고는 반경 7m이상부터 상업용 및 주거용 건물들이 있다. 충전소 관계자에게 문의한 바 1일 처리하는 양은 약 13ton, 1대 탱크로리에 저장된 양은 약 20ton 정도, 충전소에 저장되어 있는 양은 약 30ton 이라고 한다. 차량에 주입하는 충전기는 6개이고, 1일 충전하는 자동차는 약 500대 정도이며, 하루 24시간 중 새벽(03-05시) 및 오후(15-17시) 사이에는 법인택시들이 교대근무 하기 전 충전해야 하는 관계로 집중되는 경우도 있다고 한다. 충전소에 설치되어 있는 소화설비로는 소화기구가 4개 있으며, 탱크로리 고정 주차장소에는 상부에 헤드가 있는 물분무장치가 설치되어 있으며 충전소 옆면 및 뒷면에는 방화벽이 설치되어 있다.

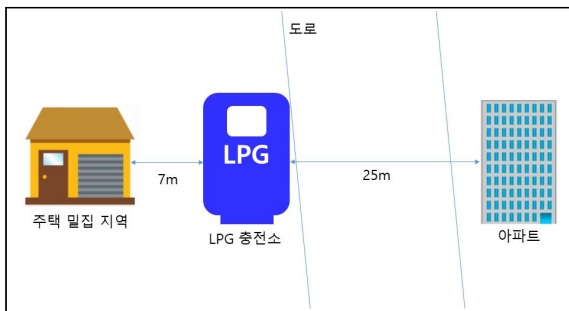


그림 1. LPG 충전소 주변모형  
 Figure 1. Model of LPG filling station

통계청(KOSIS) 자료에 따르면 2023년 1월 현재 LPG 충전소 주위 행정구역 총 인구수는 10만여명에 이르고, 2021년 LPG 충전소 주위 주택수는 71,000호로 다른 지역에 비해서 밀집된 형태를 보이고 있다[11].

## 3. 시나리오의 구성

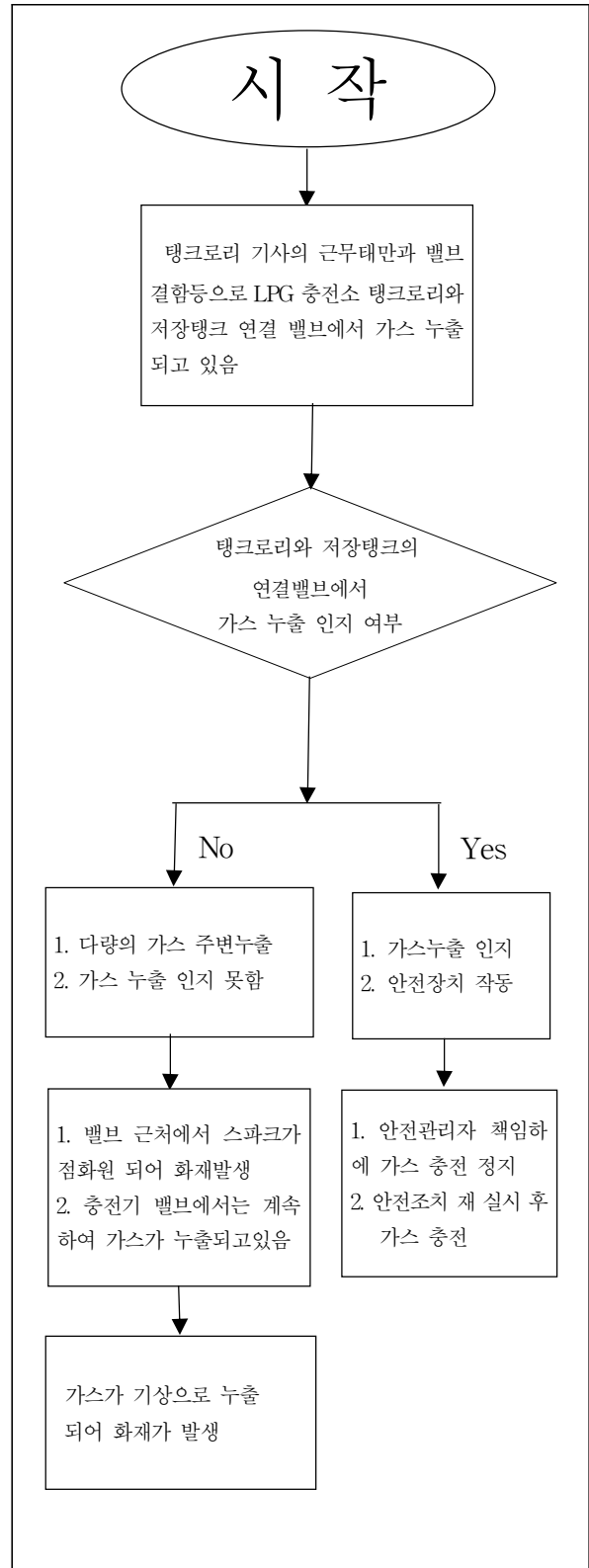


그림 2. 시나리오 1의 플로 차트  
 Figure 2. Flow Chart of Scenario 1

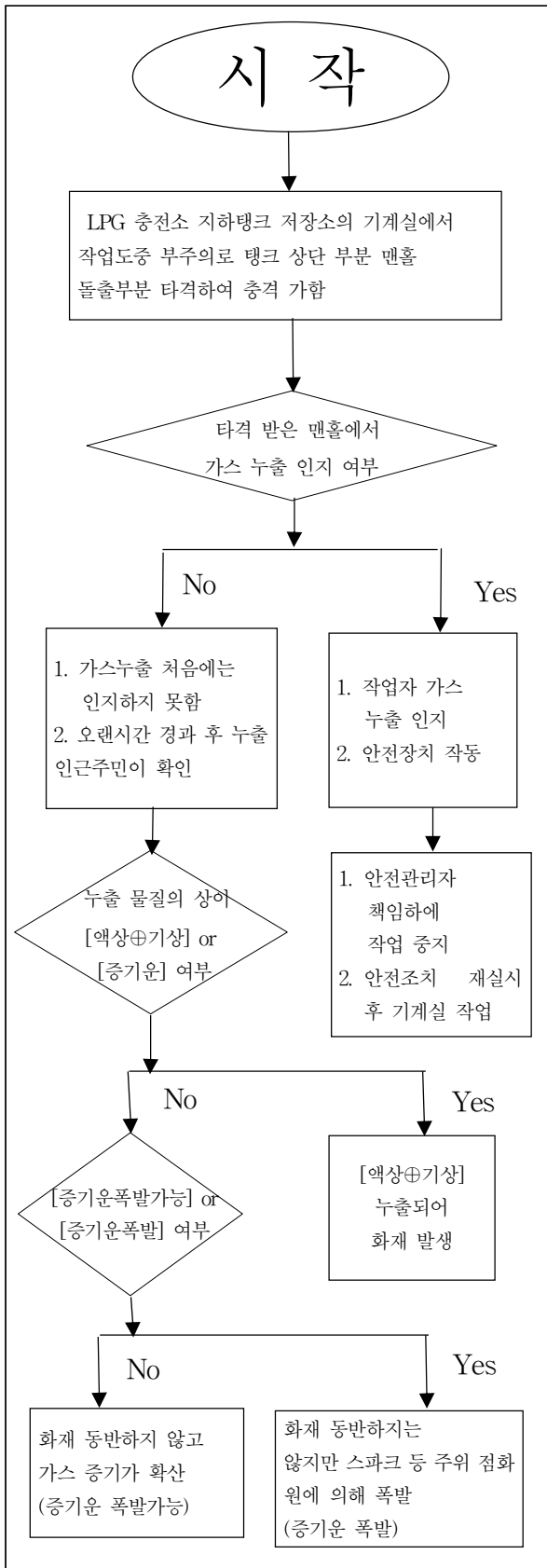


그림 3. 시나리오 II의 플로 차트  
Figure 3. Flow Chart of Scenario II

가. 특수화물 사업자인 A씨는 20톤 규격의 탱크로리 차량에 LP가스를 싣고 운행하여 서울 어느 구에 있는 LP가스 충전소에서 안전관리자 없이 혼자 가스 충전작업 위해 로딩암을 체결 충전 중 자리를 떠나 식사 도중 음주를 하고, 다시 가스 주입장소로 돌아온 뒤에도 별도 탱크로리 차량에 대한 관리없이 차량에서 잠을 자고 있었다. 그런데 A씨가 차량에서 잠을 자고 있는 동안 로딩암 주변 호스의 커플링 노후 및 불량으로 밸브에서 계속적으로 LP가스가 누출되어 인근 장소로 조금씩 확산하고 있던 중 밸브 근처에서 스파크가 발생, 이것이 점화원이 되어 가스화재로 이어진 것이며 플로 차트는 그림 2와 같다.

나. LPG 충전소에 설치되어 있는 지하저장탱크의 기계실 주변에서 작업 중 관계자 및 작업자 등의 부주의로 탱크 맨홀 상단부위를 타격함으로 구멍(Hole)이 생겨 가스가 누출되는 것으로 설정하였는데 플로 차트는 그림 3과 같다.

### III. Scenario의 입력변수·입력값

#### 1. 시나리오 I

표 1. 시나리오 I  
Table 1. Scenario I

Atmospheric Options			
Wind Speed / Wind	Measurement Height above ground is	Ground Roughness	Select Cloud Cover
5m/s, SE	10m	Open Country	Partly Cloudy
Air Temperature	Stability Class	Inversion Height Options	Select Humidity
25°C	F	No Inversion	Medium
Tank Type	Enter Two of Three Values		
Horizontal Cylinder	Diameter ⇒ 3.77m	Length ⇒ 1.6m	Volume ⇒ 17.9m <sup>3</sup>
Enter State of the Chemical	Enter the Temperature within the tank		
Tank Contains Gas Only	Chemical Stored at Ambient Temperature		
The Tank Pressure	The Amount of Gas		
7atm	0.28ton		
Type of Tank Failure	Area and Type of Leak		
Burning as a Jet Fire	Circular Opening	a Hole or Short / Valve?	
	5 centimeters	Short Pipe / Valve	

프로판의 기상 누출로 인한 Burning Jet Fire의 입력 변수 및 입력값은 표 1과 같다. 바람의 속도는 5m/s, 방향은 남동풍, 측정위치는 10m, 지표면 거칠기는 개활지, 구름량은 중간 정도인 5, 온도는 25°C, 대기안정도는 F (매우 안정), 역전층은 없으며, 대기습도는 중간(50%)으로 설정하였다. 탱크 형태는 수평실린더, 탱크의 직경 3.77m·길이 1.6m·부피 17.9m<sup>3</sup>, 물질의 상은 기상, 탱크 내 온도는 주변온도, 탱크압력 7atm, 가스의 양은 0.28 ton, 가스가 누출되는 부위는 밸브로 설정하였다.

## 2. 시나리오 II

프로판의 액상 및 기상누출로 인한 Burning Jet Fire의 입력변수 및 입력값은 표 2와 같다.

탱크의 형태는 수직형, 직경 2m 길이 5m 부피 15.7 m<sup>3</sup>, 물질의 상은 액상, 탱크 내 온도는 주변온도, 탱크 내 양은 7ton, 누출 형태는 원형인 구멍 5cm로 설정하였다.

표 2. 시나리오 II  
 Table 2. scenario II

Tank Type	Enter Two of Three Values		
Vertical Cylinder	Diameter ⇒ 2m	Length ⇒ 5m	Volume ⇒ 15.7m <sup>3</sup>
Enter State of the Chemical		Enter the Temperature within the tank	
Tank Contains liquid		Chemical Stored at Ambient Temperature	
The Mass in the Tank		Enter liquid level OR Volume	
7 tons		The liquid Volume 12.8m <sup>3</sup>	% Full by Volume 81.6
Type of Tank Failure		Area and Type of Leak	
Burning as a Jet Fire		Circular Opening	a Hole or Short / Valve?
		5 centimeters	Hole

## 3. 시나리오 II-1

프로판의 액상 누출로 인한 VCE의 입력변수 및 입력값은 표 3과 같다. 입력변수 및 입력값은 누출된 가스의 증기가 화재를 동반하지 않고 대기 중으로 확산되는 것으로 설정하였다.

표 3. 시나리오 II-1  
 Table 3. Scenario II-1

Type of Tank Failure	Hazard to Analyze
Not Burning as it escapes into the atmosphere	Flammable Area of Vapor Cloud

## 4. 시나리오 II-2

프로판의 액상 누출로 인한 VCE의 입력변수 및 입력값은 표 4와 같다.

입력변수 및 입력값은 초기에 누출된 가스가 화재를 동반하지 않지만, 스파크, 불꽃, 열, 정전기 등의 주위 점화원에 의해 폭발이 발생하는 것으로 설정하였다.

표 4. 시나리오 II-2  
 Table 4. Scenario II-2

Type of Tank Failure		Hazard to Analyze
Not Burning as it escapes into the atmosphere		Blast Area of Vapor Cloud Explosion
Time of Vapor Cloud Ignition	Type of Vapor Cloud Ignition	Level of Congestion
Unknown	Ignited by Spark or Flame	Congested, difficult to walk through

## IV. 프로판의 영향범위 및 위협구역

### 1. 시나리오 I

프로판의 기상 누출로 인한 Burning Jet Fire의 영향 범위(Sphere of Influence) 및 위협구역(Threat Zone)은 그림 4와 같다.

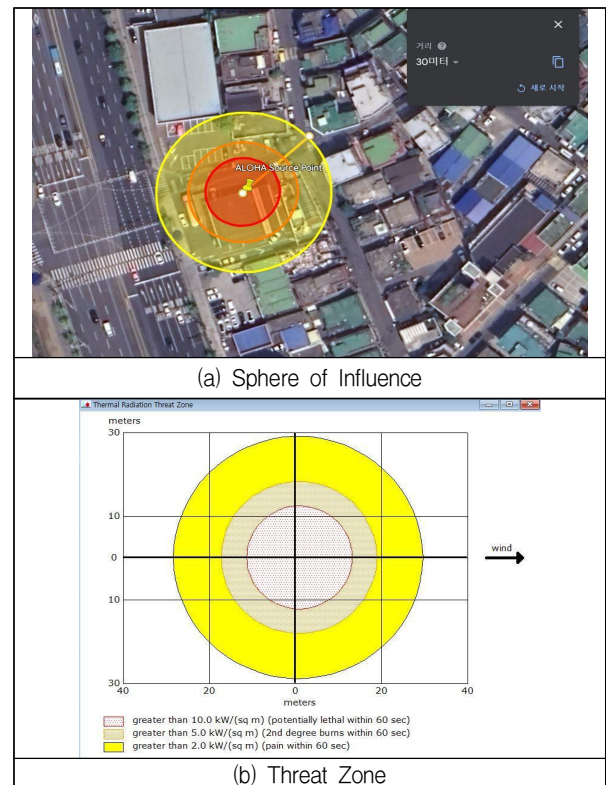


그림 4. Burning Jet Fire-기상누출  
 Figure 4. Burning Jet Fire - Gas Leak

2. 시나리오 II

프로판의 액상 및 기상누출로 인한 Burning Jet Fire의 영향범위(Sphere of Influence) 및 위협구역은 [그림 5]과 같다.

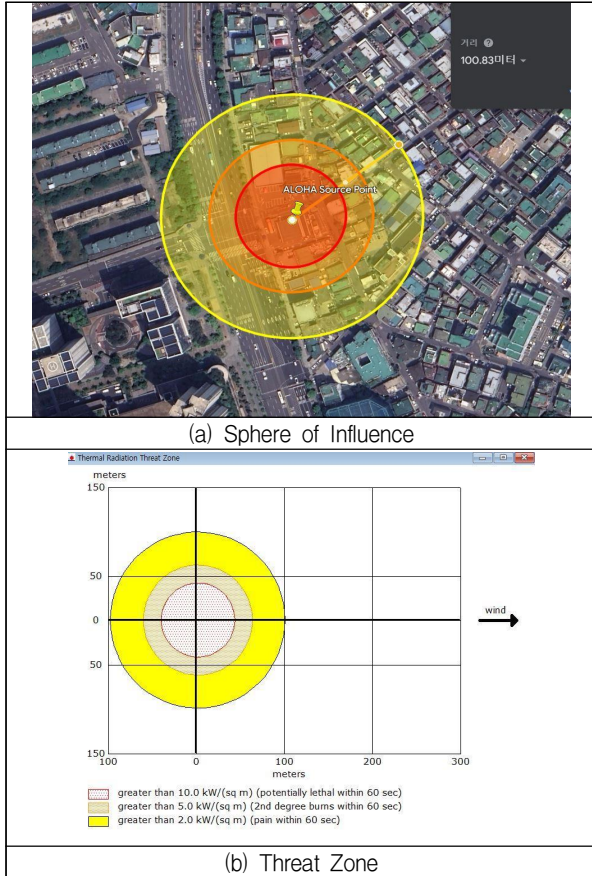


그림 5. Burning Jet Fire - (액상+기상) 누출  
Figure 5. Burning Jet Fire - (liquid+vapor phase) leakage

3. 시나리오 II-1

프로판의 액상 누출(Not Burning)로 인한 VCE의 영향범위(Sphere of Influence) 및 위협구역은 그림 6과 같다.

4. 시나리오 II-2

프로판의 액상 누출(Burning)로 인한 VCE의 영향범위(Sphere of Influence) 및 위협구역은 그림 7과 같다.

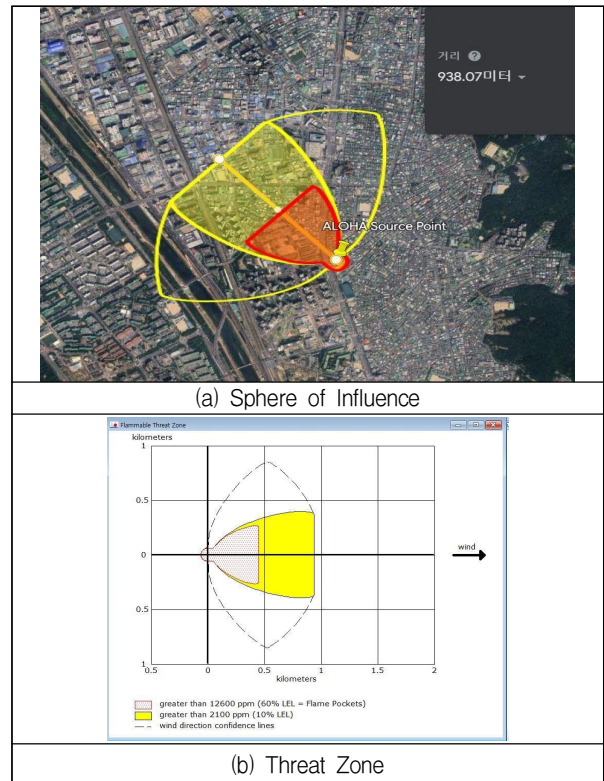


그림 6. Not Burning(VCE)-액상누출  
Figure 6. Not Burning (VCE: steam clouds can explode)-liquid leak

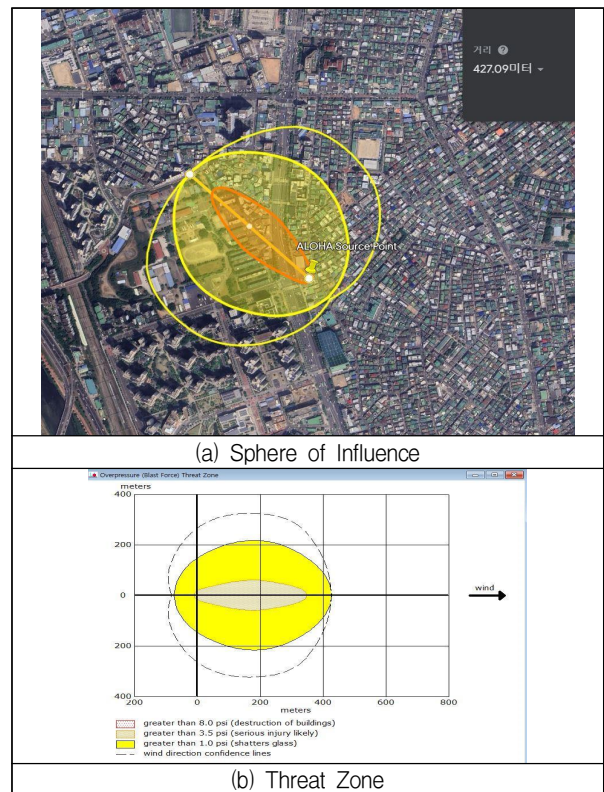


그림 7. Not Burning(VCE)-액상누출  
Figure 7. Burning (VCE)-Liquid Leakage

## V. Scenario 분석 결과

### 1. 시나리오 I

프로판의 기상 누출로 인한 Burning Jet Fire의 각 Zone 영향범위 거리는 표 5와 같이 충전소 누출지점에서 Red Zone는 13m, Orange Zone는 19m, Yellow Zone는 30m로 나타났다. 복사열, 즉 Burning Jet Fire-기상누출의 경우 60초 안에 치명적으로 상해를 입을 수 있는 범위는 13m, 60초안에 2도화상을 입을 수 있는 범위는 19m, 60초 안에 통증을 느낄 수 있는 범위는 30m 이하로 평가되므로 우선 Yellow Zone인 30m이상 밖으로 인명을 대피시켜야 한다.

표 5. Scenario I  
 Table 5. Scenario I

Wind speed	Air Temperature	Stability Class	Tank Type	Tank Pressure	Circular Opening	Red	Orange	Yellow
5m/s	25℃	F	Horizontal Cylinder	7atm	5cm	13m	19m	30m

### 2. 시나리오 II

프로판의 액상 및 기상누출로 인한 Burning Jet Fire의 각 Zone 영향범위 거리는 표 6과 같이 충전소 누출지점에서 Red Zone는 44m, Orange Zone는 64m, Yellow Zone는 101m로 나타났다. 복사열, 즉 Burning Jet Fire-[액상+기상] 누출의 경우 60초 안에 치명적으로 상해를 입을 수 있는 범위는 44m, 60초안에 2도화상을 입을 수 있는 범위는 64m, 60초 안에 통증을 느낄 수 있는 범위는 101m 이하로 평가되었다. 기상누출처럼 [액상+기상] 누출 경우에도 우선 Yellow Zone인 101m이상 밖으로 인명을 대피시켜야 한다. 또한 가스가 피부에 물을 경우와 눈에 들어 갔을 경우에는 다량의 물로 씻어야 하며 흡입했을 때에는 신선한 공기를 흡입할 수 있는 공간으로 이동하여야 한다.

표 6. Scenario II  
 Table 6. Scenario II

Wind speed	Air Temperature	Stability Class	Tank Type	Mass in Tank	Circular Opening	Red	Orange	Yellow
5m/s	25℃	F	Vertical Cylinder	7ton	5cm	44m	64m	101m

### 3. 시나리오 II-1

프로판의 액상 누출로 인한 VCE의 각 Zone 영향범위 거리는 표 7과 같이 충전소 누출지점에서 Red Zone는 447m, Yellow Zone는 938m로 나타났다. Flammable Area of Vapor Cloud(증기구름의 가연성영역), 즉 LOC(가연성 우려수준) LEL의 60Vol%(폭발가능), LEL의 10Vol% 또는 사용자 지정값(미폭발)을 선택할 수 있다. Aloha에서 적색 위험구역은 LEL의 60Vol%를 기본 LOC로 보여 주는데, Red Zone은 447m로 평균농도가 해당수준 보다 높은 곳에서 화염주머니가 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 다른 위험수준은 LEL의 10Vol%인 Yellow Zone인데 938m로 Red 및 Yellow Zone는 Propane이 방출된 후 어느 순간에 연료 및 공기 농도가 해당 LOC를 초과 할 것으로 예상되는 영역을 나타내기 때문에 Yellow Zone를 기준으로 누출량이 많을 경우 중앙정부 및 지방자치단체에 배출내용을 통지하고, 보호구를 착용하는 등 인체를 보호하기 위한 필요한 조치를 해야 할 것이다.

표 7. Scenario II-1  
 Table 7. Scenario II-1

Wind speed	Air Temperature	Stability Class	Tank Type	Mass in Tank	Circular Opening	Red	Orange	Yellow
5m/s	25℃	F	Vertical Cylinder	7ton	5cm	447m	0m	938m

### 4. 시나리오 II-2

프로판의 액상 누출로 인한 VCE의 각 Zone 영향범위 거리는 표 8과 같이 충전소 누출지점에서 Red Zone는 0m, Orange Zone는 349m, Yellow Zone는 427m로 나타났다. KOSHA GUIDE에 의하면 8psi(55kPa)는 '두께 20~30cm의 벽돌벽이를 붕괴 시킬 수 있는 압력'인데 시나리오 II-2의 경우 다행히 영향을 받지 않았고, 3.5psi(24kPa)는 '지지대가 없는 철재 건축물 또는 기름 저장탱크 파손' 시킬 수 있는 압력인데 349m, 1.0psi(7kPa)는 '주택의 일부 파손' 파손 시킬 수 있는 압력인데 427m로 평가되었다. 폭발로 인한 피해는 엄청나므로 인명을 최우선으로 영향범위 밖으로 대피시켜야 하며, 점화원이 될 수 있는 것은 모든 사전에 제거하므로 더 큰 피해를 방지해야 할 것이다.

표 8. Scenario II-2  
Table 8. Scenario II-2

Wind speed	Air Temperature	Stability Class	Tank Type	Mass in Tank	Circular Opening	Red	Orange	Yellow
5m/s	25°C	F	Vertical Cylinder	7ton	5cm	0m	349m	427m

## VI. 시나리오 분석 고찰

가스 누출로 인한 연소 측면에서는 [시나리오 I]의 기상누출 보다는 [시나리오 II]의 (액상 및 기상) 누출이 더 많은 피해를 주는 것으로 표시되어 있는데, 이는 시나리오 결과 액상누출이 기상누출 보다 화재발생 시 복사열 영향범위가 더 넓기 때문인 것을 알 수 있다.

시나리오 II-1의 액상누출(Not Burning)에서는 증기운 확산으로 인하여 충전소 주변 Yellow Zone인 938m 이내에는 가연성증기가 체류하기 때문에 특별한 관리가 필요하며, 이 ZONE 내에서는 바람의 방향에 따라 언제든지 폭발범위가 될 수 있다. 실제로 화재 발생시에는 인근 지역 소화전 또는 소방차를 이용하되 직사주수는 피하고, 분무주수 등으로 살수하여 누출된 가스가 분산되도록 하여야 한다. 시나리오 II-2의 액상누출(Burning)에서는 Orange Zone의 349m 및 Yellow Zone 427m에서는 주택의 일부라도 파괴시킬 수 있는 압력이 발생하므로 건물 내 사람이 머무르지 않도록 공공기관 등에서 긴급방송 등을 실시하여 인명피해를 입지 않도록 해야 할 것이다.

## VII. 결론

LPG 충전소에 부주의·장비의 노후 등으로 가스가 주변에 누출 될 경우 화재발생 및 폭발 상태를 ALOHA 프로그램에 적용한 바 다수의 인명사상과 재산피해를 가져올 수 있다는 결론에 이르렀다. 이 연구에서는 프로판 가스가 누출될 경우 기상상태, 물질의 상·종류·양, 탱크의 형태·직경·길이, 누출된 가스의 점화원 접촉여부 등에 따라 평가를 한 결과 사고발생 장소인 충전소 뿐만 아니라 주변지역 주민들에게 호흡곤란 등의 인명피해 및 건물파괴 등 재산피해를 입히는 것으로 나타났다.

이러한 피해를 줄일 수 있는 방안을 다음과 같이 제시한다. 첫째 LPG 저장탱크 계측기에는 압력계 온도계

액면계가 있고 밸브에는 안전밸브 '릴리프밸브' 긴급차단 밸브 3가지가 있으나 파손 및 오작동 등으로 감지하지 못할 경우 가스가 누출 될 수 있으므로 LPG 충전소의 안전관리자는 수시로 계측기와 안전밸브가 제대로 작동하는지 점검 누출을 사전에 방지할 필요가 있다. 둘째 LPG 충전소에서 저장탱크에 충전하는 작업은 위험물안전관리법 규정에 따라 한국소방안전원에서 “위험물안전관리자 교육”을 받고, 소방관서에서 “위험물안전관리자”로 선임된 사람의 책임 하에 해야 한다. 셋째 LPG 차량인 경우 과충전 방지장치 등의 각종 안전장치의 기능을 정기적으로 점검할 필요가 있다. 과충전 방지장치는 저장용기 내에 85%이상 내부에 가스가 충전되면 자동적으로 LPG가 유입되는 것을 차단하는 것이 정상이지만 가스가 누설될 경우 자동차 등의 전기적 장치에서 스파크가 발생하여 충전소에서 가스가 폭발함으로써 화재가 발생 인명 및 재산상 피해를 가져올 수 있다. 마지막으로 LPG 충전소에 가스가 누출될 때 정전기에 의해 화재가 발생할 수 있으므로 정전기를 방지할 수 있는 작업복·작업화를 착용하는 등의 조치로 정전기 발생을 억제하는 것이 바람직하다.

## References

- [1] Korea Gas Safety Corporation, National LPG Station Status (2022) (<https://www.kgs.or.kr/kgs/aci/voard.do>)
- [2] Korea LPG Association ([www.klpg.or.kr/html/](http://www.klpg.or.kr/html/))
- [3] The Hankyoreh (<http://www.hani.co.kr/arti/area/yeongnam>)
- [4] National Archives of Korea, Ministry of the Interior and Safety (<https://www.archives.go.kr/next/search/listSubjectDescription.do>)
- [5] Scientific and clinical paper, The tragedy of San Juanico—the most severe LPG disaster in history, <https://www.sciencedirect.com/journal/burns>, Volume 13, Issue 2, April 1987, Pages 87–102
- [6] Lee Sun-beom, Kong Ha-sung, “Predictive Analysis of Damage Caused by Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion and Vapor Cloud Explosion of Small LPG Storage Tanks in High School Cafeterias,” Fire & Safety Research, Vol. 3, p.119, 2022. DOI:10.54713/JFRI.2022.3.119
- [7] Kim Hye-rim, Kang Seung-gyu, Heo Yun-sil, “Analysis of Domestic and International Charging



- Station Accidents and Evaluation of Gas Leakage Damage Distance,” Energy Engineering, Vol. 26, No. 4, p.8, 2017. DOI:10.5855/ENERGY.2017.26.4.07
- [8] Lim Sa-hwan, Heo Yong-jeong. “A Study on Prediction on Fatalities Due to Vapor Cloud Explosion at LPG Vehicle Stations,” KIGAS, Vol.14, No. 2, April, 2010. DOI:10.7842/kigas.2013.17.3.1.
- [9] Park Myeong-seop, Seo Jae-min, Lee Jeong-woo, Kim Gi-soo, Kim Seong-bin, Ko Jae-wook, Shin Dong-il. “A Study on Risk Assessment of LPG Storage Facilities,” KIGAS, Vol.3, No. 3, p14. 1999.
- [10]Qingtao Zhanga,b, Gang Zhoua,b,c,\*, Yingying Hud, Shicong Wanga,b, Biao Suna,b,Wenjing Yina,b, Fengshou Guo. “Risk evaluation and analysis of a gas tank explosion based on avapor cloud explosion model: A case study. Engineering Failure Analysis, Vol.101, No p.25, 2019. DOI:10.1016/j.engfailanal.2019.03.003
- [11]Statistics Korea (4. Resident Registered Population by Administrative Region (Eup, Myeon, Dog) and by Interval of 5 Years of Age (2011~) (kosis.kr)