

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.2.419>

JCCT 2024-3-48

## 지하철역 공사지역 도시가스 배관 누출로 인한 피해면적 산정

### Estimating the Area of Damage Caused by Gas Pipeline Leakage in Subway

#### Construction Zones

양용호\*·이재욱\*\*·공하성\*\*\*

Yang, Yong-Ho\* · Lee, Jae-Wook\*\* · Kong, Ha-Sung\*\*\*

**요약** 지하철 공사장 인근에서 천공작업 중 부주의로 지하에 매설된 도시가스 배관에 구멍을 발생시켜 새어 나온 가스가 우수관 및 하수관을 통하여 지하 공사장 내부로 유입 정전기 등의 점화원과 접촉 폭발할 경우 피해 영향범위 및 위험구역을 ALOHA 프로그램에 적용 산정하였다. 도시가스 배관의 길이, 직경 및 압력 등 다양한 조건을 입력하여 위험구역 산정결과 증기구름 가연성지역의 Red Zone는 1.2~1.4km, 폭발지역의 Yellow Zone는 0.8~1.0km 및 제트화재의 Red Zone는 45~61m로 나타났다. 이 연구에서는 증기구름의 가연성 지역에서 농도와 조건이 적절히 조합된 상태이면 가연성을 증가시키고, 폭발지역 내부에서는 유리창이 깨질 수 있는 압력인 1.0psi로 폭발이 일어날 수 있으며, 제트화재인 경우에는 높은 온도와 열복사가 발생 주위 건물 밀집지역으로 화재가 빠르게 확산할 뿐만 아니라 열복사 영향으로 많은 인명피해가 발생할 수 있음을 영향범위 및 위험구역 범위로 나타내었다.

**주요어** : 알로하, 메탄, 누출, 위험구역

**Abstract** This study assessed the potential impact of gas leakage resulting from accidental damage to buried urban gas pipelines during perforating operation near subway construction sites. The risk of explosions due to ignition sources such as static electricity, arising from gas infiltrating the subway construction site through storm sewers and sewage pipes, was evaluated using the ALOHA program. The results of the threat zone calculation, which input various parameters of urban gas pipelines such as length, diameter, and pressure, indicated that the flammable area within the vapor cloud extended from 1.2 to 1.4 km (red zone), the blast area ranged from 0.8 to 1.0 km (yellow zone), and the jet fire extended from 45 to 61 m (red zone). This study demonstrates that within the flammable area of the vapor cloud, a specific combination of concentration and conditions can increase flammability. The blast area may experience explosions with a pressure of 1.0 psi, sufficient to break glass windows. In the event of a jet fire, high temperatures and intense radiant heat exposure lead to rapid fire propagation in densely populated areas, posing a high risk of casualties. The findings are presented in terms of the sphere of influence and threat zone ranges.

**Key words** : ALOHA, Methane, Leakage, Threat Zone

\*정회원, 우석대 일반대학원 소방방재학과 박사과정 (제1저자) Received: January 25, 2024 / Revised: February 11, 2024

\*\*정회원, 목원대학교 소방안전학과 시간강사(공동저자)

Accepted: February 25, 2024

\*\*\*정회원, 우석대학교 소방방재학과 교수(교신저자)

\*\*Corresponding Author: 119wsu@naver.com

접수일: 2024년 1월 25일, 수정완료일: 2024년 2월 11일

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

게재확정일: 2024년 2월 25일

## I. 서론

대도시 거주자들이 출퇴근시 많이 이용하고 있는 대중교통 수단 중 하나가 지하철이다. 버스 등 다른 대중교통과 비교할 때 편리함과 안전성이 우수하기 때문일 것이다. 이런 이유로 대도시 내에서는 지하철 확대를 위한 도시 내부 및 광역도시를 연결하는 지하철 공사가 여러 곳에서 이루어지고 있다. 지하철 공사는 지하란 특수성 때문에 다양한 위험이 존재한다. 밀폐된 공간으로 산소부족 우려가 있고 굴착으로 인해 먼지 등 부유물이 존재한다. 이 연구의 모델이 되는 지하 지하철 작업장 최대 심도는 72m로 구간 내에 무전기 송수신 장애가 수시로 발생할 우려가 있고, 내부계단을 이용하여 외부 출입시 장시간이 소요된다. 지하철 공사장 등 도심의 지하 구간에는 도시가스 배관이 매설되어 있다. 도시가스는 천연가스에

서 황화수소 및 탄산가스 등의 불순물을 제거한 후 -162℃로 냉각시켜 1/600로 압축시킨 무색액체로 배관을 통하여 공급한다. 도시가스는 가연성가스로 점화원과 접촉시 폭발위험이 매우 큰 가스이다. 지하 굴착작업 중 도시가스 배관과 접촉 등으로 LNG가스가 누출되어 대형 폭발사고가 발생 한다면 피난 등의 어려움으로 많은 인명피해가 발생할 수 있다.

최재욱 외 2명(2005)은 ‘산소농도와 압력변화에 따른 도시가스의 폭발특성’에서 도시가스의 폭발특성을 고찰하기 위하여 초기 압력변화와 공존하는 산소농도를 변화시키면서 폭발거동에 대한 실험을 수행한 결과 산소농도가 감소함에 따라 폭발하한 농도는 거의 변화가 없으나 폭발상한 농도는 급격히 감소하는 경향을 나타내었고, 동일한 압력에서 산소농도 변화에 따른 폭발하한계와 상한계가 일치하는 임계점인 한계 산소농도 12%를 구하였다.[1] 정인구 외 3명(1998)은 ‘파이프라인에서의 가스누출 확산과 폭발 영향평가’에서 파이프라인 가스 수송시에의 가스누출사고에 관하여 Gaussian Gas인 LNG의 경우 1994년 서울 마포구 지하공급기지 폭발사고와 Heavy Gas인 LPG의 경우 1995년 대구 지하철 공사장 폭발사고를 중심으로 고찰하였다. 즉, 밀폐공간에서의 가스 누출량을 계산하고 현장 피해보고 결과를 토대로 폭발효율을 예측하였다.[2] 이경식 외 3명(2008)은 ‘도시가스 고압배관의 정량적 위험평가 절차에 관한 연구’에서 천연가스 배

관의 정량적 위험평가의 절차에 초점을 맞추어 European Gas Pipeline Incident Data Group과 BG Transco의 자료를 사용한 사고발생 빈도의 계산방법, 화재에 의한 사고피해 영향 분석방법, 개인적위험(Individual Risk)과 사회적위험(Societal Risk)의 계산방법을 체계적으로 제시하였다. 또한 고압배관의 위험 계산은 위험평가 대상 구간의 길이에 따라 예측된 배관 화재로부터 영향을 고려하는 것이 필요하다고 하였다.[3] 조영도(2017)는 ‘밀폐공간에서 메탄 폭발사고의 최소 가스누출량 예측’에서 밀폐된 공간에서 폭발사고를 일으키기 위한 최소 메탄 누출량의 산정방법을 가우스 분포모델과 폭발시험에 기반하여 제시하였고, 가장 보수적인 폭발사고 시나리오는 메탄농도가 8%인 고립된 가연성 혼합가스 운의 연소 후 등온팽창하여 평형 폭발압력을 형성하는 것이라고 하였다. 또한, 밀폐공간에서 연소하한 농도에 해당하는 가스누출량에 비하여 매우 적은 양의 메탄가스가 누출되어도 심각한 폭발사고를 일으킬 수 있다고 하였다.[4] Pang Lei 외 3명(2012)은 ‘Hazard Characteristics from Gas, Explosion in Underground Constructions(지하 가스폭발로 인한 위험특성)’에서 충격과 초고압은 가연성가스 영역에서는 증가하지만 원래 가스 영역을 넘어서는 곳에서는 감소하고, 화염의 경우에도 이전 가스 영역에서는 연속으로 가속되지만 원래 가스영역을 넘어서면 감소한다고 하였다.[5] 이 연구에서는 도시가스 배관에 기체상태로 저장되어 있던 메탄가스가 누출될 경우 폭발 등으로 발생하는 피해 면적을 ALOHA PROGRAM에 적용 산정하고자 한다. 기존 연구와는 달리 누출에 따른 가연성 영향농도(ppm), 증기운폭발시(VCE)의 폭발과압(psi)에 따른 피해거리, 복사열(kw/m<sup>2</sup>)의 영향범위 등 다양한 요소를 고려하고 피해거리를 구체적으로 제시하고자 한다.

## II. 본론

### 1. 지하철역 공사장 사고사례

1995년 대구광역시에서 지하철 1호선 2공구 건설공사에서 일어난 사고로 사망자 101명, 부상자 202명, 재산 피해는 약 540억원이 발생했다. 사고원인은 지하에 가스배관이 매설된 것을 모르고 노면에 구멍 뚫는 작업

을 하던 중 직경 100mm, 압력 4kg/cm<sup>2</sup> 압력의 가스관을 천공기로 파손해 가스가 유출되고, 인접 설치된 마감이 되지 않은 우수관의 틈새를 통해 가스가 하수구로 들어가 지하철 공사장 지하공간으로 유입 작업 인부들의 점화요인(스파크 등)에 의해 착화 폭발된 것으로 파악되고 있다.[6] 2016년 경기도 남양주시 지하철 공사장 폭발사고로 사망자 4명, 중경상 10명이 발생했다. 사고원인은 작업장에 LPG통·산소통 및 절단기 등을 전날 작업 마친 인부들이 현장에 그대로 두고 퇴근한 상태에서 불특정장소 어딘가에 누출되어 쌓여 있던 유증기 또는 가스가 정전기 또는 스파크 등의 점화원에 의해 폭발한 것으로 추정했다. 사고 현장에는 폭발을 막을 수 있는 환풍기와 가스누출탐지기가 설치되지 않았던 것으로 알려져 안전불감증이 부른 인재라는 증거가 드러났다.[7]

1993년 서울 강동구 지하철 5호선 지하 1.5m 지점에서 도시가스 누출로 인한 화재가 발생하여 인부 2명이 화상을 입었고 약 350만원의 재산피해가 발생했다. 사고원인은 인부들이 사고현장에서 5m 떨어진 지점에서 도시가스관 이음새가 부서진 것을 발견하고, 공사장 흡 피메우기 작업 중 지반에 눌린 이음새가 부서지면서 가스가 누출되어 화재가 발생한 것으로 유추했다.

표 1. 물리적 성질  
 Table 1. Physical Property

CAS No.	74-82-8	분자식	메탄[CH <sub>4</sub> ]
분자량(g/mole)(1atm, 4℃)	16.04	색취	무색무취
액체비중(물=1, 4℃)	0.41	가스밀도(g/L)(1atm, 21℃)	0.66
가스비중(공기=1)(1atm, 21℃)	0.55	비점(℃)	-161.5
융점(℃)	-184.0	증기압(kg/cm <sup>2</sup> )	초저온(1.5~15)
폭발범위(vol.%(공기 중))	5~15	임계온도(℃)	-82.1
임계압력(kg/cm <sup>2</sup> )	45.8	발화점(℃)	537
발열량(kJ/kg)	55.75	연소방정식	CH <sub>4</sub> +2O <sub>2</sub> →CO <sub>2</sub> +2H <sub>2</sub> O

#### 4. 도시가스 배관현황 및 관련법규

4.1 2015~2022년까지 완공된 도시가스 배관길이는 매년 약 4만(km)이고, 2021년 현재 용도별 도시가스는 가정용(43.7%), 산업용(34.6%) 및 업무용(5.3%)의 구성비(%)를 이루고 있다.[9]

4.2 관련법규[11]를 살펴보면 고압은 1MPa 이상의 압력(게이지압력), 중압은 0.1MPa이상 1MPa미만의 압력

#### 2. 도시가스의 일반적 사항

도시가스의 공급경로는 산유국에서 LNG선으로 국내에 들어온 액화천연가스를 인천 등 한국가스공사 인수기지에 저장하고, 가스공사는 저장기지의 LNG를 기체상태로 바꾸어 도시가스회사로 수송하며, 도시가스회사는 배관을 통해 소비자에게 공급하고 있다. 도시가스의 용도로는 주택 또는 업무용건물(취사/난방), 산업체(공정용/연료용),

열병합발전소(CHP/HOB), 수송용차량(NGV) 등이다.[8] 도시가스의 조성비율을 살펴보면 메탄[CH<sub>4</sub>] 88.1%, 에탄[C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>] 5.0%, 프로판[C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>] 4.9%, 부탄[C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>] 1.8%, 펜탄[C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>] 0.1%, 질소[N<sub>2</sub>] 0.1% 이다. 도시가스의 주성분은 메탄인데 무색무취이다. 누출시 색깔 또는 냄새가 없으므로 사고대비에 한계가 있다. 그래서 가스가 누출시 치명적인 인명사고가 발생할 수 있으므로 도시가스사업법에 따라 부취제를 12~20mg/Nm<sup>3</sup> 농도로 첨가하고, 이는 대략 0.02ppm 정도이다. 부취제는 인체에 해가 없고 공기 중에서 3~4시간 정도 지나면 사라진다.

#### 3. 메탄의 물리적 성질

도시가스에서 가장 많은 비율을 가진 메탄의 물리적 성질을 살펴보면 비점은 -161.5(℃), 폭발범위는 공기중에서 5~15(vol.%), 임계압력은 -85.1(℃) 및 발열량은 55.75(kJ/kg)이며 전체적인 성질은 표 1과 같다.

및 저압은 0.1MPa미만의 압력을 나타내며, 배관을 지하에 매설하는 경우 폭 8m이상의 도로에서는 1.2m이상 깊이로 하여야 하고, 굴착 공사 때에는 공사명,장소, 기간,가스배관 유무확인일 및 굴착공사일 등을 기록하여 관리한다. 또한, 도시가스사업자는 굴착공사장별로 안전관리책임자·안전관리원 또는 배관 안전점검원의 자격자로 굴착공사 안전관리전담자를 지정해야 하며,

배관(호칭지름이 100mm 미만인 저압배관은 제외)으로서 노출된 부분의 길이가 100m 이상인 것은 위급한 때에 그 부분에 유입되는 도시가스를 신속히 차단할 수 있도록 노출부분 양 끝으로부터 300m 이내에 차단장치를 설치하거나 500m 이내에 원격조작이 가능한 차단장치를 설치한다.

5. 플로우차트

지하철역 인근 공사 중 도시가스 배관에 구멍이 생겨 가스가 누출된 경우를 가정 초기 조치에 따라 확산을 막는

데 성공 및 실패 여부가 나누어지는데, 성공인 경우 매뉴얼에 따른 현장 안전대책을 즉시 시행하고, 실패했을 경우에는 결과가 Flammable Area(가연성지역), Blast Area(폭발 과압지역) 및 Jet Fire(제트파이어)의 3가지 유형으로 나타나는데 다양한 ALOHA 평가를 위해 배관의 길이(100,300,500m), 직경(5,10,20cm) 및 압력(40,60atm)으로 입력한 결과 3가지 Zone(Red,Orange,Yellow)의 영향면적(Sphere of Influence) 및 위협구역(Threat Zone) 결과를 도출하기 위한 플로우차트는 그림 1과 같다.

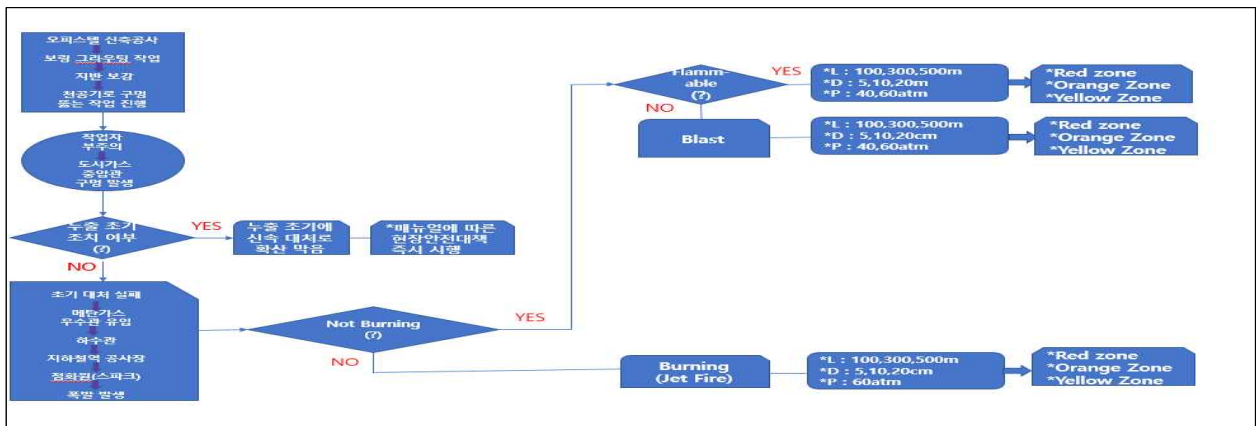


그림 1. 플로우차트  
Figure 1. Flowchart

6. 모델링 대상 도시가스배관 및 지하철역사 공사 현장 개요

6.1 도시가스배관 개요

이 연구의 모델이 되는 도시가스배관은 중압배관으로서 PLP강관이고, 직경 200mm이다. 또한, 배관내 압력은 0.5MPa이고, 500m마다 긴급시 차단 할 수 있는 안전 밸브가 설치된 것으로 가정한다.

6.2 지하철역사 공사현장 개요

이 연구의 모델이 되는 지하철역사 현장은 경기도 안산부터 광명을 거쳐 여의도까지 연결되는 중간 위치의 정거장 지하 공사현장이다. 그림 2(a)는 작업현장의 지하 최대심도 72m 및 출입구 넓이 17m를 보여주는 단면도이다. 그림 2(b)는 지상 작업장인데 지하 터널 발파작업을 위한 화약고가 있으며 1일 최대 1,150kg를 사용한다. 그림 2(c) 및 그림 2(d)는 지하 공사장에서 굴삭기로 터널을 뚫는 현장 사진이다.



그림 2. 지하역사 작업현장  
Figure 2. Subway Station Worksite

7. 시나리오의 구성

7.1 시나리오 설정

인근 오피스텔 신축공사 현장에서 지반을 보강하기 위한 보링 그라우팅(Boring Grouting) 작업하기 위해 천공기 2대를 동원 현장 지반에 지름 8cm, 깊이 10cm의 구멍 20개를 뚫는 천공작업 중 작업자의 부주의로 지하 1m 40cm 문힌 도시가스 중압관에 지름 5cm 구멍을 생겼다. 가스관에서 새어 나온 고압 가스가 인근에 매설되어 있던 우수관으로 유입되었고, 우수관에 연결된 하수관을 따라 가스가 이동한 후 40~50m 떨어진 지하철역사 지하 공사장으로 조금씩 흘러 들어가는 상태이며, 이후 가연성 및 지연성가스의 혼합기체가 점화원(정전기 등)에 의해 폭발적으로 연소하는 가스폭발로 설정하였다. 도시가스 배관에서의 누출사고 시나리오에 대한 영향범위 등의 분석은 ‘사고시나리오 선정 및 위험도 분석에 관한 기술지침’을 적용하였다.[11]

7.2 ALOHA PROGRAM 사고형태 적용기준

도시가스 누출에 따른 피해 영향범위 및 위험구역 산정을 위해 미국 NOAA와 EPA에서 공동 개발한 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres, v5.4.7) PROGRAM를 적용하였다.[12] Flammable Area of Vapor Cloud는 폭발할 수 있는 농도의 값으로 LEL (폭발하한값)의 60% 및 LEL의 10%를 기준으로 각각 Red 및 Yellow의 Zone으로 표시한다. Blast Area of Vapor Cloud Explosion는 폭발압력이 8.0psi(빌딩이 파괴될 수 있는 압력), 3.5psi(심하게 상처 받을 수 있는 압력), 1.0psi(유리창이 깨질 수 있는 압력)를 기준 각각 Red, Orange 및 Yellow의 3개의 Zone으로 표시한다. Jet Fire는 복사열에 의한 피해값 10kW(60초 안에 치명적으로 상해를 입을 수 있는 열량), 5kW(60초 안에 2도화상을 입을 수 있는 열량), 2kW(60초 안에 고통을 받을 수 있는 열량)을 기준 각각 3개의 Zone으로 표시한다. 세부적인 Threat Zone 및 LOC 적용기준은 표 2와 같다.

표 2. Threat Zone 및 LOC 적용기준  
 Table 2. Threat Zone and LOC Application Criteria

구분	Threat Zone(위험구역)	LOC(Level of Concern) (관심농도)
중기 구름의 가연성지역	Red	30000ppm=60%LEL (폭발하한값)
	Orange	none
	Yellow	5000ppm=10%LEL (폭발하한값)
중기 구름의 폭발지역	Red	8.0 psi=destruction of buildings (빌딩이 파괴될 수 있는 압력)
	Orange	3.5 psi=serious injury likely (심하게 상처 받을 수 있는 압력)
	Yellow	1.0 psi=shatters glass (유리창이 깨질 수 있는 압력)
제트화재	Red	10.0 kW[sq m]=potentially lethal within 60sec (60초 내 치명적 상해 입을 수 있는 열량)
	Orange	5.0 kW[sq m]=2nd degree burns within 60sec (60초 내 2도화상을 입을 수 있는 열량)
	Yellow	2.0kW[sq m]=pain within 60sec (60초 내 고통을 받을 수 있는 열량)

7.3 ALOHA PROGRAM의 대기 및 입력 조건

도시지역의 건물 유형은 복층 구조(Double Storied Building), 건물 주변환경은 나무 등의 장애물이 있어 바람이 부는 것을 방해하는 것으로 설정하였다. ALOHA PROGRAM 대기 조건 적용은 ‘사고 시나리오 선정 및 위험도 분석에 관한 기술지침’의 내용, 즉 대기안정도인 경우 최악

조건 시나리오에 대한 영향범위를 분석할 때의 대기조건인 초당 1.5m/s의 풍속, 대기안정도는 “F”이다. 최악조건인 시나리오 분석의 경우 대기 온도는 25℃, 습도는 50%를 적용한다. 그 외의 ALOHA PROGRAM 대기 및 입력 조건은 표 3과 같다

표 3. ALOHA 대기 및 입력 조건  
Table 3. ALOHA Input Terms

화학물질 명칭	메탄
1. 설정-시나리오 : 가연성가스의 파이프라인	
2. 건물유형	복층구조 건물
3. 건물 주변환경	보호된 주변환경
4. 풍속	1.5m/s
5. 풍향	남동쪽
6. 지표면거칠기	도심지
7. 구름 양	중간정도의 구름
8. 대기온도	25℃
9. 대기안정도	F
10. 대기 역전층	역전층 없음
11. 상대습도	50%
12. 배관- 길이,직경,압력	12-1. 길이 : 100,300,500m 12-2. 직경 : 5,10,20cm 12-3. 압력 : 5,10,20,40,60atm

8. 시뮬레이션 피해예측

8.1. ALOHA 적용하는 기본 조건들은 동일하되, 시뮬레이션 피해예측에 필요한 배관의 길이, 직경 및 압력 등의 여러 조건들을 달리 적용 증기구름 가연성지역(Flammable Area), 증기구름의 폭발지역(Blast Area) 및 제트화재(Jet Fire) 등 세 가지 유형으로 작성하였다.

8.2. 배관 길이(100m)

ALOHA PROGRAM의 입력조건 결과 증기구름 가연성지역의 영향범위(Sphere of Influence) 및 위협구역(Threat Zone) 범위는 그림 3과 같다.

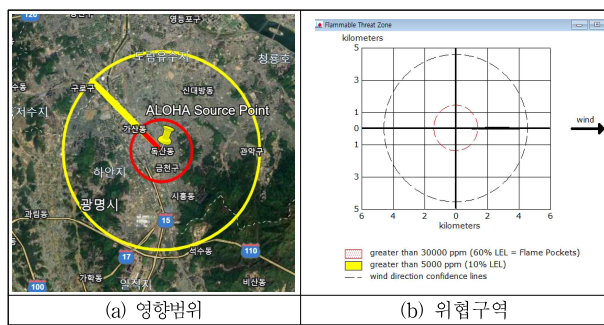


그림 3. 증기구름 가연성지역  
Figure 3. Flammable Area of Vapor Cloud

증기구름의 폭발지역의 영향범위 및 위협구역 범위는 그림 4와 같다.

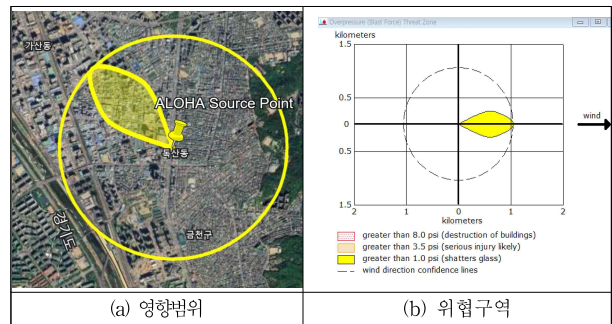


그림 4. 증기구름의 폭발지역  
Figure 4. Blast Area of Vapor Cloud

제트화재의 영향범위 및 위협구역 범위는 그림 5와 같다.

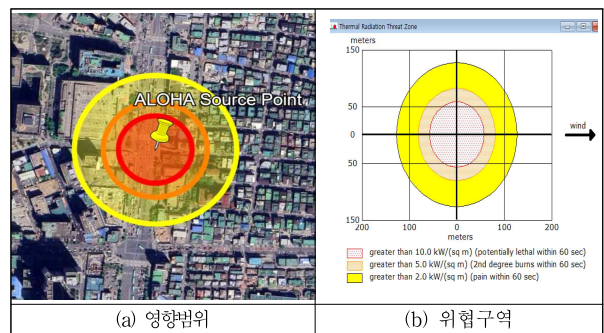


그림 5. 제트화재  
Figure 5. Jet Fire

8.3. 배관 길이(300m)

증기구름 가연성 지역의 영향범위 및 위협구역 범위는 그림 6과 같다.

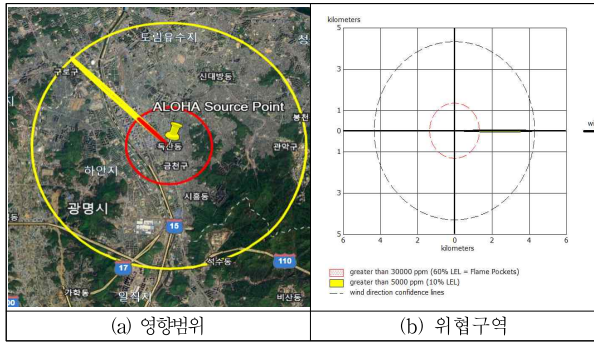


그림 6. 증기구름 가연성지역  
 Figure 6. Flammable Area of Vapor Cloud

증기구름의 폭발지역의 영향범위 및 위험구역 범위는 그림 7과 같다.

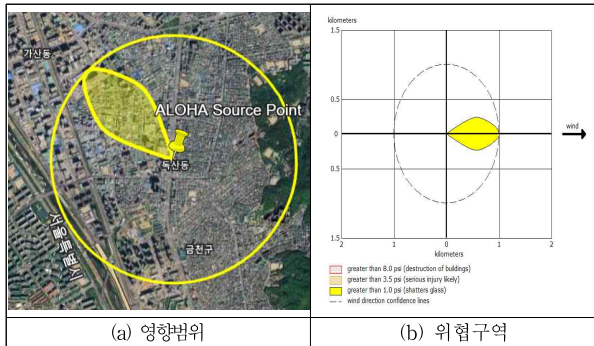


그림 7. 증기구름의 폭발지역  
 Figure 7. Blast Area of Vapor Cloud

제트화재의 영향범위 및 위험구역 범위는 그림 8과 같다.

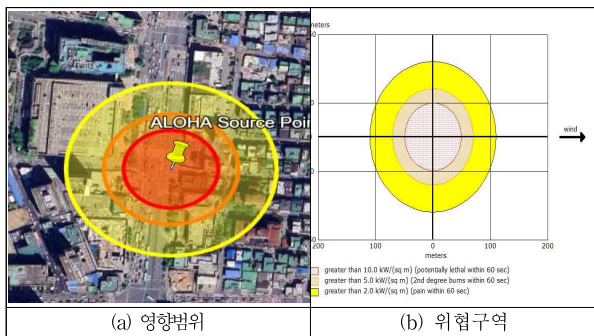


그림 8. 제트화재  
 Figure 8. Jet Fire

#### 8.4 배관 길이(500m)

증기구름 가연성 지역의 영향범위 및 위험구역 범위는 그림 9와 같다.

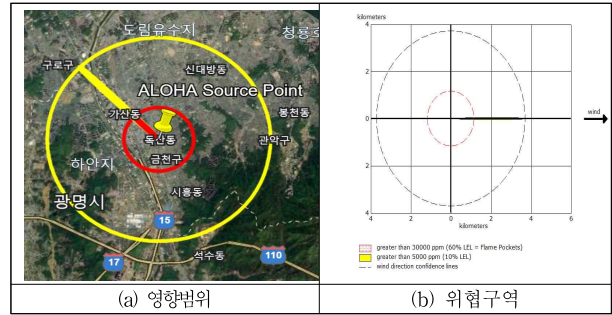


그림 9. 증기구름 가연성지역  
 Figure 9. Flammable Area of Vapor Cloud

증기구름의 폭발지역의 영향범위 및 위험구역 범위는 그림 10과 같다.

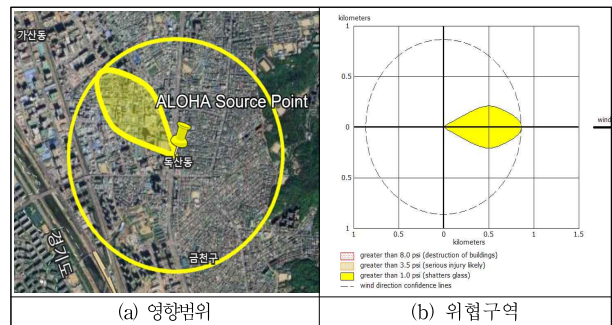


그림 10. 증기구름의 폭발지역  
 Figure 10. Blast Area of Vapor Cloud

제트화재(Jet Fire)의 영향범위 및 위험구역 범위는 그림 11과 같다.

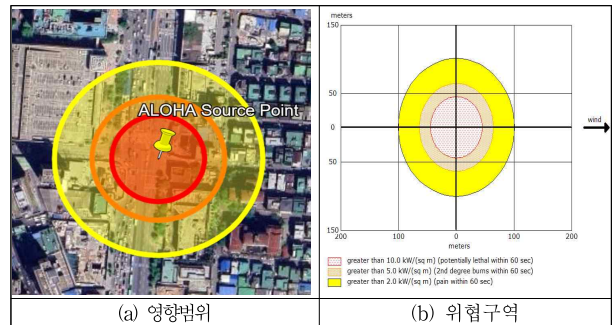


그림 11. 제트화재  
 Figure 11. Jet Fire

#### 9. 시뮬레이션 분석 결과

일반적으로 배관 길이가 각각 (100,300,500m)의 동일한 조건에서 ALOHA PROGRAM에 적용한 결과 직경 및 압력 값이 증가할수록 그림 6~그림 14의 Zone(Red,Orange,Yellow)의 범위도 넓게 나타났다. 이 연구의 모델이 되는 지하철역사 공사장의 경우 지하 하부에서 지상 상부까지의 높이가 약 72m이다. 증기구름

가연성 지역의 Red Zone(60% LEL=Flame Pockets) 경우 배관 길이가 (100,300,500m)이고, 직경(20cm 동일) 및 압력(40,60,60atm) 일 때 조건 결과값이 각 1.2~1.4km이다. LEL(폭발하한)은 가스가 연소할 수 있는 농도이기 때문에 LEL 범위내이면 화재가 발생할 수 있는 영역이 될 수 있다. 즉, 도시가스 배관 외부충격으로 누출된 증기 구름형태의 가연성 가스가 1.2~1.5km까지 확산되어 LEL 위험구역을 형성하므로 누출지점으로부터 40~50m 떨어진 지하철 공사장으로 많은 양이 유입 스파크 등의 점화원과 접촉시 대형 화재가 일어날 수 있음을 나타내었다. 증기구름의 폭발지역(Blast Area)의 Yellow Zone 경우 배관 길이가 (100,300,500m)이고, 직경(20cm 동일) 및 압력(40,60,60atm) 일 때 조건 결과값이 0.8~1.0km이다. 즉, 누출된 가스가 지하철 공사장으로 유입될 경우 배관 길이가 짧을수록 더 멀리 확산되고, 정전기 등의 점화원과 접촉시 내부에서 1.0psi(유리창이 깨질 수 있는 압력) 압력의 폭발이 일어날 수 있음을 나타내었다. 제트화재(Jet Fire)의 Red Zone 경우 배관 길이가 (100,300,500m)이고, 직경(20cm) 및 압력(60atm)일 때 조건 결과값이 45~61m이다. Jet Fire(분출화재)는 연료 가스가 배관 등을 통해 분출되는 경우 발생하는 화재로서 분출된 가스가 공기와 혼합 후 화염을 형성하는 것을 말하는데, 도시가스 배관의 누출로 Jet Fire가 발생하는 경우 인근 지역으로의 화재가 발생함으로 많은 인명 및 재산상의 피해가 예상된다.

### III. 결 론

이 연구결과를 토대로 개선방안을 제시하면 연구모델 대상지역인 서울 금천구 지하철 공사장 주변의 경우 폭 50m의 ○○대로를 사이에 두고 인근에 대형마트 및 주민 거주지가 있어 지하공사장 내부로 가스가 유입 정전기 및 스파크 등의 점화원에 의한 대형 화재 및 폭발이 발생할 경우 다수의 사상자가 발생할 가능성이 높다. 따라서 이 연구에서는 도시가스 배관이 외부충격으로 가스가 누출되는 경우 ALOHA PROGRAM에 대기 및 배관의 조건을 입력 화재 및 폭발로 인한 Flammable, Blast 및 Jet Fire의 피해 영향범위 및 위험구역을 산정한 결과 모두 공사장 내부뿐만 아니라 외부의 원거리 지역까지도 상당한 타격을 입힐 수 있음을 보여 주었다. 지

하철 공사장 인근에서 천공작업 등을 실시하고자 하는 경우 공사 전 가스배관의 도면 등을 확보하고 작업중에는 수시로 가연성가스 농도를 측정함으로 조금만 누출되어도 폭발가능범위에 해당할 수 있다는 것을 작업자가 명확하게 인지하여야 대형사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.

또한 공사 관계자들은 보링그라우팅 작업을 시작하기 전 지역도시가스 사업자와 긴밀한 협조로 배관의 중간 밸브를 폐쇄한 상태에서 안전을 확보한 후 작업을 진행하는 방법도 고려해야 한다.

이 연구에서는 도시가스 누출에 따른 피해 영향범위 및 위험구역을 ALOHA PROGRAM 조건 입력 후 산정한 결과를 중심으로 제시하였다. 향후에는 피해 영향범위 및 위험구역 안에 있는 인원의 피난방법 및 화재 진압대책 등의 구체적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

### References

- [1] Jae-Wook Choi, In-Sik Lee and Sung-tae Park, "The Explosion Characteristics of City Gas on the Change of Oxygen Concentration and Pressure", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol.9. No.1, 2005, pp.38-43.
- [2] In-Gu Jung, Sang-Bin Yoo, Su-Kyung Lee and Lae Hyun Kim, "Assessment of Gas Release Dispersion and Explosion in Pipeline", Journal of the Korean institute of gas, Vol.2. No.2, 1998, pp.61-69.
- [3] Kyung-Sik Lee, Young-Do Jo, Young-don Ryou and Jae Wook Ko, "A Study on the Procedure of Quantitative Risk Assessment for High Pressure Natural Gas Pipeline", Journal of the Korean institute of gas, Vol.12. No.2, 2008, pp.25-31.
- [4] Young-Do Jo, "Estimate Minimum Amount of Methane for Explosion in a Confined Space", Journal of the Korean institute of gas, Vol.21. No.4, 2017, pp.1-5.
- [5] Pang Lei, Tian Jialei, Yao Wei and Xu Yabo, "Hazard Characteristics from Gas Explosion in Underground Constructions", Procedia Engineering, Vol. 43, 2012, pp.293-296.
- [6] Insight, "24 Years Ago Today (28th), 101 People Tragically Lost their Lives in the Daegu Subway Gas Explosion."(<https://www>)



- w.insight.co.kr/news/224921)
- [7] Donga, “Namyangju Subway Explosion, Gas-Oxygen Tank Abandoned. There was no Ventilator-Leakage Detector or Watchman.” (<https://www.donga.com/news/article/all/20160603/78472798/1>)
- [8] Korea City Gas Association, City Gas Industry (<http://www.citygas.or.kr/industry/index.jsp>)
- [9] Korea City Gas Association, Annual City Gas Statistics (<http://www.citygas.or.kr/industry/index.jsp>)
- [10] Korea Gas Safety Code, “Facility/Technical/Inspection/Safety Diagnosis Code for Pipes Outside of Producing and Supplying Places of Urban Gas Business“
- [11] National Institute of Chemical Safety (<https://nics.me.go.kr/main.do>)
- [12] United States Environmental Protection Agency, ALOHA Air Modeling ([https://www.epa.gov/cam/alo/alo-software](https://www.epa.gov/cam/alo/alo/alo-software))