

도시가스-수소 혼합가스의 누출사고 영향범위 분석

윤찬식^{1)*}, 양진두¹⁾, 나길수¹⁾, 임성현¹⁾, 김기영¹⁾, 최은기¹⁾

Prediction of Damage Area due to Explosion of LNG-Hydrogen Mixed Gas

Chan-sik Yoon, Jin-du Yang, Gil-soo Na, Sung-Hyun Im, Ki-young Kim, Eun-ki Choi

Abstract The government is promoting various policies to reduce greenhouse gas emissions for carbon neutrality, one of the key tasks is to revitalize the hydrogen economy. As one of these policies the government has formulated a plan to incorporate hydrogen into existing city gas pipes, and aims to commercialize 20% hydrogen mixing by 2026. In preparation for the commercialization of city gas and hydrogen mixture, this study quantitatively predicts the scale of damage and the range of impact in the event of leakage of these two gas mixtures. The quantitative damage prediction method is to calculate the damage conversion distance through the calculation of the TNT equivalent by setting the leakage amount of the gas mixture in the event of an accident under a virtual scenario.

Key words Hydrogen mixing of city gas, TNT Equivalent, Damage Prediction

초 록 탄소중립을 위한 온실가스 배출 감소를 위해 정부에서는 다양한 정책을 추진하고 있는데 그 핵심과제 중 하나가 수소경제 활성화 정책이다. 이 정책 중 하나로 정부는 기존 도시가스 배관에 수소를 혼합하는 추진안을 공식화하였고 다가오는 2026년까지 20% 수소 혼합을 상용화하는 것을 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 도시가스와 수소 혼합 상용화를 대비하여 이 두 가지 혼합가스의 누출사고 발생 시 피해 규모 및 영향범위를 정량적으로 예측하고자 한다. 정량적 피해 예측 방식은 가상 시나리오에 따른 사고 발생 시 혼합가스의 누출량을 설정하여 TNT 당량 계산을 통해 피해 확산 거리를 산출하는 것이다.

핵심어 도시가스 및 수소 혼합, TNT 등가법, 피해예측

1. 서론

전 세계적인 이상기후에 따른 재난과 피해로 인해 각국에서는 탄소중립(Net Zero 또는 Carbon Neutrality)을 위한 온실가스 저감 정책을 활발히 펼치고 있다. 국내에서도 장기 저탄소 발전 전략으로서 '2050 탄소 중립'을 목표로 하여 다양한 시나리오를 구성하여 정

책을 시행하고 있다.

2018년 기준 국내 최종에너지 원별 소비를 보면, 석유(48.7%), 전력(20.1%), 석탄(14.2%), 도시가스(11.7%), 신재생에너지(4.0%), 열에너지(1.2%) 순이었다. 또한 도시가스는 깨끗하고 사용하기 편리한 에너지라는 인식으로 최종에너지로서의 소비가 꾸준히 늘었는데 2020년 한국도시가스협회 기준의 도시가스 보급률을 보면 전국 85.0%, 수도권 92.0%로 이미 국민의 상당수가 이용하고 있는 에너지임을 알 수 있다.

정부는 수소경제 활성화 정책의 일환으로 기간산업인 도시가스의 기존 배관을 활용하여 민관 합동으로 '도시가스 수소 혼합 실증 추진단'을 구성하여 도

1) JB주식회사

* 교신저자 ckstir1234@jbcorporation.com

접 수 일 : 2022년 10월 17일

심사완료 : 2022년 10월 26일

계재승인 : 2022년 11월 08일

시가스와 수소의 혼합에 대한 실증연구를 추진하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시가스 수소 혼합에 앞서 가스 폭발사고 발생 시 도시가스 사용 대비 도시가스 수소 혼합가스 사용의 위험성을 판단하기 위해 동일한 사고 시나리오로 TNT 당량을 분석하여 피해 영향 범위를 정량적으로 예측하고자 한다.

2. 가스 폭발 사고 시나리오

2.1 도시가스 사고 사례

최근 5년간 가스별 사고 현황 건수는 Table 1과 같다. 2017년 가스별 사고 중 도시가스는 19건으로 전체의 약 20%에 해당되고, 가스별 사고 현황 건수가 19년부터 감소 추세를 나타내고 있다. 최근 5년간 총 496건의 가스 사고 중 도시가스, 수소 폭발 사고는 총 23건(5%)이고 이 중 사고 규모 기준으로 고의사고를 제외한 1급 사고는 0건, 2급 사고 중에는 강릉 강원 테크노파크 벤처공장 수소 폭발 사고가 있다(한국가스안전공사, 2021).

도시가스도 최근은 아니지만 1990년도 초반에는 도시가스 안전관리에 대한 인식이나 작업 절차가 미흡하여 발생한 1급 사고가 있었는데 서울 마포구 아현동과 대구 지하철 공사장 가스 폭발사고이다. 해당 사고에 대한 현황은 다음과 같다.

첫째, 강릉 강원 테크노파크 벤처공장 수소 폭발 사고는 2019년 5월 23일 오후 6시 22분경 400m³ 규모의 수소탱크 3기가 테스트 중 폭발한 사고로 폭발 충격으로 3300m² 규모의 해당 공장은 뼈대만 남았고, 150m나 떨어진 건물에도 상당한 피해를 일으킬만한 충격파가 발생했으며 이 폭발로 2명이 사망, 7명이 중경상을 입었다. 사고 원인은 수소탱크에 산소를 분

리해내는 정제기와 정전기로 인한 점화를 제거하기 위한 정전기 제거장치가 미설치된 것, 즉 인재로 밝혀졌다.

둘째, 서울 마포구 아현동 도시가스 폭발사고는 1994년 12월 7일 오후 2시 55분경 지금의 애오개역 4번 출구 방향에 있던 밸브기지에서 공급기지에 설치된 계량기 점검보수 작업 중 가스가 누출되었고, 환기통 주변 모닥불 불씨로 추정되지만 정확히 밝혀지지 않은 원인 미상의 점화원에 의해 폭발한 사고로 12명이 사망하고 101명이 다치는 등의 인명피해를 일으켰다. 건물 145동(전파 75동, 부분파손 70동), 동산 431건, 영업손실 47점, 차량손실 92대 등의 물질 피해도 발생했다. 이에 따라 210세대 555명의 이재민이 발생한 사고이다.

셋째, 대구 지하철 공사장에서 발생한 도시가스 폭발사고는 1995년 4월 28일 오후 7시 52분경 대구 달서구 상인동 지하철 공사장에서 그라우팅 보링을 위한 천공작업 중 도시가스 중압 개관을 천공기로 관통하여 가스가 누출되면서 가스의 일부가 파손된 우수관을 통하여 지하철 공사장으로 유입되었고, 원인 미상의 점화원에 의해 폭발한 사고로 101명이 사망하고 201명이 부상을 입는 등 총 300여 명의 사상자를 냈으며 차량 150대 이상, 건물 80여 채가 파손되는 엄청난 피해가 발생했다(정인구, 1998).

수많은 인명피해와 물질 피해가 발생하는 대형 사고의 빈도는 잦지 않지만 도시가스와 수소 사고는 한번 발생하면 이처럼 엄청난 피해를 가져온다. 특히 수소는 폭발 농도 범위에 대한 위험지수가 18.5로 천연가스 2.62에 비해 높아 각별한 주의가 필요하다(오규형, 2006). 이번 연구에서 도시가스 및 도시가스와 수소의 혼합가스 누출사고 발생 시, 발생하는 피해 영향 범위를 최악의 시나리오와 대안의 시나리오를 바탕으로 비교하여 피해 범위를 가늠해 보고자 한다.

Table 1. 가스별 사고 현황 (단위: 건)

구 분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
LPG	53	46	53	43	35
도시가스	19	27	21	23	17
도시가스(폭발)	0	2	3	3	2
고압가스	11	24	9	10	9
수소	3	5	1	3	1
부탄연소기	15	24	18	22	17
계	98	121	101	98	78

2.2 가스 폭발 사고 시나리오 선정

사고 시나리오 조건 및 가정 설정 기준은 최악, 대안의 시나리오 2가지 상황으로 도시가스와 혼합가스(도시가스 80%, 수소 20%)의 경우로 총 4가지 경우를 비교해 보려 한다. 사고 시나리오 조건은 KOSHA GUIDE 최악 및 대안의 사고 시나리오 선정에 관한 기술지침(한국산업안전보건공단, 2020)에 따라 설정하

였고 최악의 시나리오 중 누출량 산정 부분은 당사 배관의 현실적 부분을 반영하여 가정하였다. 시나리오 선정에 관한 공통사항은 다음과 같다.

- 1) 천안시 소재 정압기 내 가스 누출 및 원인 미상의 폭발로 가정한다.
- 2) 정압기 환풍구에 의해 확산하는 누출량은 무시한다.
- 3) 모든 마찰손실은 무시한다.
- 4) 연속적 누출로 본다.
- 5) 정압기실 건물에 의해 폭발 과압이 감소하지 않는 것으로 본다.
- 5) 배관은 직선 배관으로 가정하여 길이를 산정한다.
- 6) 배관 내 온도는 DNV Synergi 배관망 해석 프로그램 온도로 설정한다.
- 7) 모든 기체는 STP 상태(Standard temperature and pressure)로 가정한다.
- 8) 도시가스는 구성 성분 중 가장 큰 비중을 차지하는 메탄(CH₄)으로만 이루어져 있다고 가정한다.

Table 2와 같이 최악의 시나리오의 누출압력은 해당 정압기 내 최고압력인 0.9MPa로 설정하고 TNT 당량 모델을 사용함으로 폭발 효율은 10%로 설정하였다. 누출량 또한 KOSHA GUIDE 기술지침을 따르려 했으나 도시가스사 현실적 부분을 반영하여 누출량 산정 배관 범위 기준을 자동 차단 밸브에서 수동 매몰형 차단 밸브로 수정하고 해당 정압기 인입 매몰형 밸브는 차단하지 않는 것으로 보았다.

대안의 시나리오의 누출압력은 최악의 시나리오와 동일하게 0.9MPa로 설정하였고 누출공 크기는 도시가스 정압기실 환경을 고려하여 6.35mm로, 누출 시간은 KOSHA GUIDE 기술지침 검출 및 차단 시스템에 기반한 누출 시간에 따라 60분으로 설정하였다.

Table 2. Scenario parameters for mixed gas explosion

	Worst Scenario	Alternative Scenario
Place of accident	Governor	
Pressure	0.9MPa	
Temperature in Piping	288.5K	
Pipe Diameter	50A-300A	-
Pipe Length	3,173m	-
Hole Size	-	6.35mm
Leakage time	-	60min

3. 혼합가스 폭발손상 영향범위 예측법

3.1 메탄 및 수소의 특성

혼합가스 폭발사고 위험성 판단에 앞서 연료로써 활용되는 각 가스의 특성에 대해 기술하고자 한다. 혼합가스의 주성분인 메탄과 수소의 물리적 특성은 Table 3과 같다(최와 최, 2021).

수소의 폭발범위는 4~75vol%로 메탄의 폭발범위와 비교했을 때 매우 넓고, 최소점화에너지는 메탄과 비교했을 때 1/10 이하 수준이다. 또한 수소는 연소하기 쉬운 기체로 넓은 범위에서 가연성 혼합가스를 형성하여 정전기 불꽃에 의해서도 쉽게 점화가 될 수 있다. 그러나 수소 기체는 가장 가벼운 화합물로, 확산속도가 굉장히 빨라 개방된 공간에서는 폭발범위의 농도에 도달하기 전에 대기 중으로 쉽게 확산될 수 있다. 수소 기체의 농도가 희석될수록 폭발범위와 낮은 점화에너지로 인한 위험도는 낮아진다. 기체의 물성과 비율에 따라 혼합기체의 물성이 달라지며, 도시가스 내 수소 혼입 20vol%의 분자량과 폭발범위는 다음과 같이 산출된다.

첫 번째, 혼합가스의 평균 분자량은 식(1)과 같고, 이 식에서 M 은 혼합가스의 몰질량(g/mol), M_1 은 메탄의 몰질량(g/mol), M_2 는 수소의 몰질량(g/mol)이다.

$$M = 0.8M_1 + 0.2M_2 \tag{1}$$

두 번째, 혼합가스의 폭발범위는 르샤틀리에의 공식(2), (3)과 같고, 식(2)에서, L 은 혼합가스의 폭발 한계(%), L_1 은 메탄의 연소하한계, L_2 는 수소의 연소하한계이고, 식(3)에서, U 는 혼합가스의 폭발 상한계(%), U_1 은 메탄의 연소상한계, U_2 는 수소의 연소상한

Table 3. Properties of Methane and Hydrogen

Properties	Methane	Hydrogen
Chemical Formula	CH ₄	H ₂
Molecular Weight [g/mol]	16	2
Specific Heat Ratio	1.42	1.41
Gas density at 1atm [kg/m ³]	0.68	0.09
Minimum Ignition Energy [mJ]	0.29	0.02
Lower flammable Concentration [%]	5	4
Upper flammable Concentration [%]	15	75

계이고, 식(2), (3) 공통으로 V_1 은 메탄의 부피(%), V_2 는 수소의 부피(%)이다.

$$\frac{100}{L} = \frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} \quad (2)$$

$$\frac{100}{U} = \frac{V_1}{U_1} + \frac{V_2}{U_2} \quad (3)$$

3.2 가스 누출량 및 연소 열량

앞서 최악의 시나리오에서 선정된 가스 누출량을 산출하기 위해 설정한 조건값을 이상기체방정식에 대입하면 식(4)과 같고, 이 식에서 P 는 압력(atm), V 는 부피(L), n 은 몰수(mol), R 은 기체상수(atm · L/mol · K), T 는 절대온도(K), W 는 기체의 질량(g), M 은 기체의 몰질량(g/mol)이다.

$$PV = nRT = \frac{W}{M}RT \quad (4)$$

그리고 대안의 시나리오의 가스 누출량을 산출하기 위해 노즐에서의 가스 분출량 계산식(5)을 사용하고, 이 식에서 Q 는 분출가스량(m^3/h), k 는 유출계수(0.8), D 는 노즐의 지름(mm), d 는 가스비중, P 는 노즐 직전의 가스압력(mmH₂O)이다.

$$Q = 0.011K \times D^2 \sqrt{\frac{P}{d}} = 0.009D^2 \sqrt{\frac{P}{d}} \quad (5)$$

그다음 메탄과 수소의 완전연소 반응식을 통해 연소 열량을 구할 수 있는데 본 연구에서는 한국에너지기술연구원의 표준상태 연료 고위발열량 기준으로 혼합가스의 연소 열량을 확인한다. 해당 기준들의 총 발열량은 질량 기준이기 때문에 앞서 계산한 혼합가스의 평균 분자량으로 메탄과 수소의 질량비를 계산하여 결과값을 식(6)과 같이 산출하였다. 이 식에서, E 은 혼합가스의 총 발열량(kJ/kg), E_1 은 메탄의 총 발열량(kJ/kg), E_2 는 수소의 총 발열량(kJ/kg)이다.

$$E = 0.97E_1 + 0.03E_2 \quad (6)$$

3.3 TNT 등가법

가연성 가스나 인화성 가스가 외부에 누출되어 대기 중 공기와 혼합하여 폭발성을 가진 증기운(vapor cloud)을 형성하고, 이때 점화원에 의해 화구를 형성하며 폭발하는 형태를 증기운 폭발(vapor cloud explosion)이라고 한다. 이러한 증기운 가스 폭발은 충격파나 압력파를 발생시켜 인적, 물적 피해를 야기하기 때문에 폭발원으로부터 거리에 따른 과압(overpressure)의 크기를 평가하는 것이 중요하다. 증기운 폭발에 대한 계산방법은 TNT 등가법과 다중 에너지 방법이 있는데 본 연구에서는 이 중 TNT 등가법으로 과압의 크기를 계산하기로 한다.

TNT 등가법이란 폭발에 사용되는 폭발성 물질의 질량을 등가의 에너지로 계산하여 TNT 질량으로 전환하는 것으로 Sochet(2010)에 따라 계산하면 식(7)과 같고, 이 식에서 α_e 는 에너지를 기준으로 한 TNT 등가계수, α_m 은 질량을 기준으로 한 TNT 등가계수, E_{mf} 는 폭발성 물질의 연소열(J/kg), E_{mTNT} 는 TNT의 폭발열(J/kg), W_{TNT} 는 TNT 등가량(이하 당량)(kg), W_f 는 공기 중에 있는 폭발물의 총량(kg)이다.

$$W_{TNT} = \alpha_e \times \frac{W_f \times E_{mf}}{E_{mTNT}} = \alpha_m \times W_f \quad (7)$$

KOSHA GUIDE 사고 피해예측 기법에 관한 기술 지침의 TNT 당량 모델 피해예측 절차에서는 누출원 모델을 이용하여 누출된 인화성 가스 또는 인화성 액체의 양을 계산하여 TNT 당량 산출을 식(8)과 같이 제안하였고, 이 식에서 W 는 TNT 당량(kg), μ 는 폭발수율계수(0.1), M 은 누출된 인화성 가스 또는 인화성 액체의 양(kg), E_c 는 폭발을 일으킨 물질의 연소열(kJ/kg)이다.

$$W = \frac{\mu \times M \times E_c}{2,000} \quad (8)$$

위의 계산식들을 이용하여 평균 분자량, 폭발범위, 총 발열량, 가스 누출량, TNT 당량을 산출하면 Table 4와 같은 결과값을 얻을 수 있다.

Table 4. TNT equivalent calculation result

	Methane		Methane & Hydrogen	
	Worst Scenario	Alternative Scenario	Worst Scenario	Alternative Scenario
Average Molecular weight	16 [g/mol]		13.2 [g/mol]	
Explosive Range	5 ~ 15 [vol%]		4.76 ~ 17.86 [vol%]	
Heating Value	55,580 [kJ/kg]		58,166 [kJ/kg]	
Amount of gas leakage	5,036 [kg]	148 [kg]	4,155 [kg]	163 [kg]
TNT equivalent	13,996 [kg]	412 [kg]	12,084 [kg]	474 [kg]

4. LNG-수소 혼합가스 폭발에 의한 피해 영역 예측 결과

$$P_o = (1.86 \times 10^6) Z^{-1.67} (Pa) \quad (10)$$

4.1 손상 피해 환산거리 결정

TNT 당량 계산에서 결정된 결과값에 의해 사고지점으로부터 피해 환산거리(Scaled distance)를 구하면 식(9)에 의해 계산된다. 이 식에서 Z 는 환산거리 ($m/kg^{1/3}$), R_G 는 사고지점으로부터 거리(m), W 는 TNT 당량(kg)이다.

$$Z = \frac{R_G}{W^{1/3}} \quad (9)$$

식(9)에서 산출된 환산거리를 통해 피해 영향 범위를 예측할 수 있는 과압을 계산하여야 하는데, Fig. 1 과 같이 KOSHA GUIDE에서 제공하는 TNT 과압 곡선으로는 정확한 결과값을 산출할 수 없다. 따라서 윤용균(2016)의 최대과압-환산거리 회귀식(10)을 활용하도록 한다. Table 5는 식(9), (10)을 통해 계산된 환산거리 및 최대과압을 Table 4에서 구분한 시나리오 별로 다음과 같이 구분한 결과값이다.

- 1) Methane leak accident(Worst scenario): W_1, Z_1, P_1
- 2) Methane leak accident(Alternative Scenario): $W_2,$

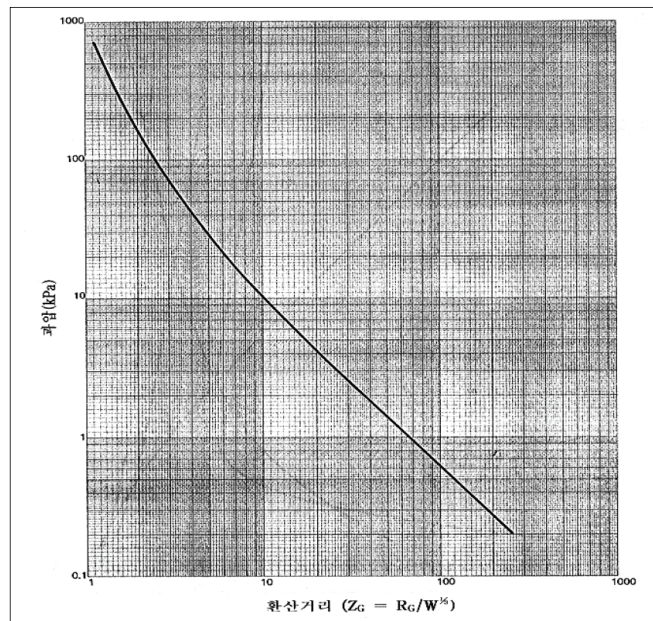


Fig. 1. TNT overpressure curve.

Table 5. Results of scaled distance for equivalent TNT explosion

R_G	W_1	W_2	W_3	W_4	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	P_1	P_2	P_3	P_4
10	13,996	412	12,084	474	0.4	1.3	0.4	1.3	8080	1135	7446	1228
20					0.8	2.7	0.9	2.6	2539	357	2340	386
30					1.2	4.0	1.3	3.8	1290	181	1189	196
40					1.7	5.4	1.7	5.1	798	112	735	121
50					2.1	6.7	2.2	6.4	550	77	507	84
100					4.2	13.4	4.4	12.8	173	24	159	26
200					8.3	26.9	8.7	25.7	54	7.6	50	8.2
300					12.5	40.3	13.0	38.5	28	3.9	25	4.2
400					16.6	53.8	17.4	51.3	17	2.4	16	2.6
500					20.8	67.2	21.8	64.1	12	1.7	11	1.8
1,000	41.5	134.4	43.6	128.3	3.7	0.5	3.4	0.6				

$$Z_2, P_2$$

3) Mixed gas leakage accident(Worst Scenario): $W_3,$

$$Z_3, P_3$$

4) Mixed gas leakage accident(Alternative Scenario):

$$W_4, Z_4, P_4$$

4.2 가스 폭발 시나리오별 피해범위 예측 결과

예측 분석에 따른 예상 피해 규모를 측정하기 위해 폭발 과압에 따른 피해 영향 범위를 먼저 확인하여야 한다. 해당 피해 영향 범위를 판단할 수 있는 Table 6을 살펴보면 과압이 0.15kPa에서 소음이 발생하는 정도 수준이라면 70kPa에서는 모든 건축물이 파손되는 수준의 영향을 받는다(한국산업안전공단, 2021).

Table 6. Effects of Explosive Overpressure

Overpressure(kPa)	Effects
0.15	Noise generation
0.2	Damage to the partial window
0.3	Loud noise generation
1	Damage to the window
3	Minor damage to the structure
7	Damage to the structure of the house(Unrecoverable)
18	Damage to 50% of the house
30	Damage to factory buildings
50	Complete damage to the house
70	Damage to most buildings

본 연구에서는 이 중 일반 가정집이 회복 불가능한 피해를 받는 수준인 7kPa를 기준으로 예상 피해 규모를 산정해보기로 한다.

예상 피해 규모는 도시가스, 혼합가스에 대해 최악 및 대안의 시나리오를 대입하여 총 4가지의 상황으로 분석하였다. 폭발 과압 7kPa에 해당되는 사고지점으로 부터 피해 예상 거리는 식(9), (10)을 역산하여 각 시나리오별로 다음과 같이 계산된다.

- 1) Methane leak accident(Worst scenario): 도시가스(메탄) 누출사고 중 최악의 시나리오로 피해 영향 범위는 Fig. 2의 붉은색 원 반경 내에 해당하며, 피해 예상 거리는 680m이고 피해 가구 수는 4,485 가구이다.
- 2) Methane leak accident(Alternative Scenario): 도시가스(메탄) 누출사고 중 대안의 시나리오로 피해 영향 범위는 Fig. 3의 붉은색 원 반경 내에 해당하며, 피해 예상 거리는 210m이고 피해 가구 수는 1,962가구이다.
- 3) Mixed gas leakage accident(Worst Scenario): 혼합가스(메탄, 수소) 누출사고 중 최악의 시나리오로 피해 영향 범위는 Fig. 4의 붉은색 원 반경 내에 해당하며, 피해 예상 거리는 650m이고 피해 가구 수는 4,430가구이다.
- 4) Mixed gas leakage accident(Alternative Scenario): 혼합가스(메탄, 수소) 누출사고 중 대안의 시나리오로 피해 영향 범위는 Fig. 5의 붉은색 원 반경



Fig. 2. Methane leak accident (Worst scenario).

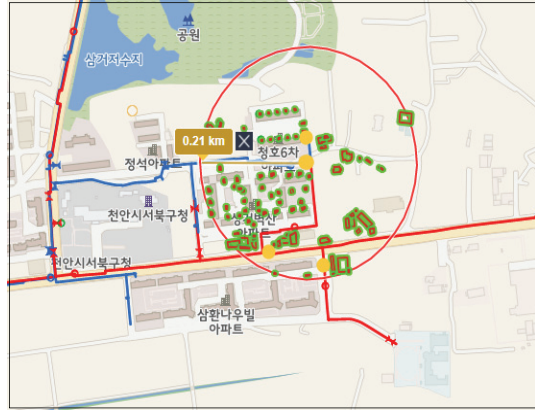


Fig. 3. Methane leak accident (Alternative Scenario).

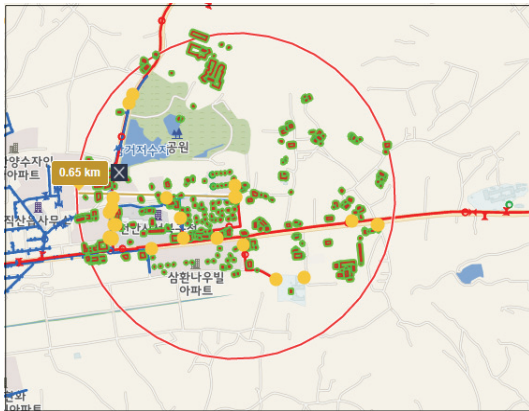


Fig. 4. Mixed gas leakage accident (Worst Scenario).



Fig. 5. Mixed gas leakage accident (Alternative Scenario).

내에 해당하며, 피해 예상 거리는 220m이고 피해 가구 수는 2,025가구이다.

5. 결론

본 연구에서는 도시가스 수소 혼입의 상용에 앞서 안전관리의 중요성을 시사하고자, 도시가스 수소 혼합가스의 누출사고 시 피해 영향범위를 연구했다. 연구는 도시가스, 혼합가스에 대해 최악 및 대안의 시나리오로 비교하여 총 4가지 경우의 수를 따져 TNT 당량을 산출하여 피해 환산 거리를 계산하였고, 이를 도시가스 긴급상황분석 프로그램에 대입하여 상황별 피해 가구 및 영향 범위를 예측하였다.

메탄보다 높은 발열량을 갖는 수소가 혼입된 혼합

가스는 메탄의 발열량보다 약 5% 높은 발열량을 갖고 있지만, 수소의 분자량 자체가 메탄 대비 12.5%밖에 되지 않아 배관 전체의 누출량을 기준으로 하는 최악의 시나리오의 TNT 당량으로 비교하였을 때는 메탄과 비교하였을 때보다 오히려 14% 감소한다. 하지만 대안의 시나리오로 비교하였을 때는 노즐에서의 가스 분출량 기준이기 때문에 반대로 위험성이 15% 증가한다. 또한 혼합가스의 폭발범위가 메탄 대비 31% 증가하기 때문에 폭발 위험성이 절대적으로 낮다고 판단하기는 어렵다.

본격적인 수소 상용화 시대에 앞서 더 다양한 피해 예측에 관한 연구와 실제 폭발에 대한 모델링 및 시뮬레이션이 필요할 것으로 사료된다. 또한 본 논문을 통해 얻은 연구 내용이 관련 업계의 비상출동 안

전관리 대응체계 구축 및 운용에 있어 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국가스안전공사, 2021년 가스사고 연감 KGS 2022-095.
2. 오규형, 이광원, 이성은, 김태훈, 2006, 수소의 폭발위험성에 대한 고찰, 2006 한국가스학회 추계 학술발표회지, pp. 159.
3. 정인구, 유상빈, 이수경, 김래현, 1998, 파이프라인에서의 가스누출 확산과 폭발 영향평가, 1998 한국가스학회 추계 학술발표회지, pp. 61-68.
4. 윤용균, 2016, 폭발에 따른 최대과압 및 충격량 평가, 화약·발파, Vol. 34, No. 4, pp. 30-33.
5. Isabelle Sochet, 2010, Blast effects of external explosions, PRISME Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche en Ingénierie des Systèmes, Mécanique et Energétique, pp. 12-15.
6. 최승호, 최형권, 2021, 등가누출직경을 적용한 음속 제트 누출의 폭발위험장소 범위 산정을 위한 수치 해석적 연구, 한국방재학회 논문집, Vol. 21, No. 4, pp. 122-123.
7. 한국산업안전보건공단, 2020, KOSHA GUIDE 최약 및 대안의 사고 시나리오 선정에 관한 기술지침.
8. 한국산업안전보건공단, 2021, KOSHA GUIDE 사고 피해예측 기법에 관한 기술지침.

	<p>윤 찬 식 JB주식회사/안전솔루션팀</p> <p>Tel: 041) 530-1921 E-mail: ckstir1234@jbcorporation.com</p>		<p>양 진 두 JB주식회사/안전솔루션팀</p> <p>Tel: 041) 530-1831 E-mail: jinduy@jbcorporation.com</p>
	<p>나 길 수 JB주식회사/안전솔루션팀</p> <p>Tel: 041) 530-1912 E-mail: freena19@jbcorporation.com</p>		<p>임 성 현 JB주식회사/안전솔루션팀</p> <p>Tel: 041) 530-1947 E-mail: sktjdgus1004@jbcorporation.com</p>
	<p>김 기 영 JB주식회사/안전솔루션팀</p> <p>Tel: 041) 530-1907 E-mail: kimgiyeong@jbcorporation.com</p>		<p>최 은 기 JB주식회사/안전관리2팀</p> <p>Tel: 041) 530-1943 E-mail: eunki@jbcorporation.com</p>