



산업단지 고압매설배관 안전관리 고찰

최현웅 · 정세광 · †김진준*

호서대학교 안전환경기술융합학과, *호서대학교 수소에너지안전기술공학과
(2017년 10월 4일 접수, 2017년 12월 6일 수정, 2017년 12월 7일 채택)

A Study on the Safety Management of High Pressure Underground Pipeline in Industrial estate

Hyun-Woong Choi · Se-Kwang Chung · †Jin-Jun Kim*

Dept. of Convergence Technology for Safety and Environment, Hoseo University,
*Dept. of Hydrogen Energy and Safety Technology Engineering, Hoseo University
(Received October 4, 2017; Revised December 6, 2017; Accepted December 7, 2017)

요약

1960년대에 설립된 울산 및 여수 산업단지 고압가스매설배관은 누출 시 피해가 큰 독성가스는 물론 도시가스보다 무겁고 연소범위가 낮은 가연성가스가 그물망처럼 매설사용 중에 있다.

특히, 산업단지 배관의 경우 20년 이상 노후된 배관이 과반이상으로 점유하고 있다. 이와 같이 산업단지 배관은 상주시공감리제도 도입이전에 매설설치 되었으나, 도시가스 매설배관과 달리 법적 의무 없이 자율적으로 배관관리를 하고 있다.

본 연구에서는 산업단지 고압매설배관과 도시가스 매설배관의 안전관리 실태현황, 법을 비교, 피해영향범위 분석 하고 이를 산업단지 고압매설배관의 배관점검모델 마련에 활용하여 산업단지 고압매설배관의 안전성향상에 기여하고자 한다.

Abstract - Established in the 1960s, high pressure underground pipelines in Ulsan and Yeosu industrial estate are underground as toxic gas as well as combustible gas that is heavier than city gas and low combustion range.

Especially, industrial pipelines occupy more than 20 years old pipes. In this way, the industrial estate pipeline was installed before the introduction of the supervision of construction, However, unlike the city gas pipeline, the pipeline is managed without any legal obligation.

In this study, the safety management status of high pressure underground pipelines and urban gas underground pipelines in the industrial estate is analyzed and comparison of laws, extent of damage impact, using the pipe inspection model for pipe inspection of high pressure piping system with the existing piping system. it is intended to contribute to improving the safety of industrial estate are underground pipeline.

Key words : industrial estate, underground pipeline, EOCS, risk management

1. 서론

구미 불산가스 누출 사고(2012. 09)와 대만 가오슝 산업용 가스배관 폭발사고(2014. 08)를 계기로

산업단지의 사고위험에 대한 사회적 우려가 증대되고 있다.

산업단지 고압가스매설배관은 누출시 피해범위가 큰 독성가스는 물론 도시가스보다 공기 비중이 크고 연소 범위가 낮은 가연성가스 배관으로 매설시기가 오래된 장기 사용배관이 많으며, 총 매설배관의 길이는 893km 이상 될 것으로 추산된다.

†Corresponding author:jjkim@hoseo.edu
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

산업단지의 경우 여러 사업장 사이에 가스 유통을 위한 고압매설배관을 그물망처럼 매설하여 사용중에 있다.

특히 산업단지 밀집지역은 대량의 화학물질 및 공정 특성에 따라 고압공급방식의 가스를 사용하기 때문에 사고 발생시 피해는 매우 클 수 밖에 없다.

매설배관에서 주로 발생하는 사고원인으로는 타공사, 지반침하, 시공결함, 부식 및 원인미상 등이라 할 수 있으며, 본 연구에서는 타공사 사고 방지를 위한 도시가스 매설배관과 고압가스 매설배관의 안전관리에 대해 고찰해봄으로써, 산업단지 내 고압가스 매설배관의 안전관리 향상에 기여하고자 한다.

II. 매설배관 안전관리 분석

2.1. 매설배관 현황

(1) 도시가스 매설배관

한국도시가스협회에 따르면 도시가스 매설배관은 2010년 32,919km에서 2016년 42,712km로 증가하였다. 다음의 Fig. 1은 2016년 기준 연도별 배관 길이를 나타낸다.

(2) 고압가스 매설배관

산업단지 내 배관 연장은 약 893km로 울산, 여수, 대산, 기타 순으로 매설 배관 길이가 가장 길며, 울산(637.023km), 여수(115.608km), 대산(23.668km), 기타(117.224km) 매설배관을 보유하고 있다.

Table 1과 같이 주요 국가 산업단지인 울산, 여수, 대산의 경우 20년 이상 장기 운영된 매설배관은 약 52.7%를 차지하고 있다. 이처럼 노후화된 고압배관의 절반 이상이 2001년 상주시공감리가 도입되기 전에 설치된 배관이다.

지하 매설 배관 설치 또는 변경시에는 허가관청

또는 신고관청의 감리를 받도록 하는 일반시공감리 및 자체시공감리를 통해 설치 운영되고 있었다.

2015년 7월부터 굴착공사 정보지원센터(EOCS) 운영을 통하여 굴착공사로 인한 고압가스배관의 파손사고 예방을 위하여 정보지원 업무를 수행 중에 있다.

2.2. 제도 변화 비교분석

(1) 도시가스 매설배관 관련 제도

도시가스의 사고는 Fig. 2와 같이 지속적으로 발생하였으며 관련 법률의 정비와 보완이 이루어져왔다.

도시가스와 관련된 제도 개선으로는 Table 2와 같이 오랜 기간에 걸쳐 많은 제도의 변화가 있었으며 그로 인해 매설배관의 안전관리수준이 획기적으로 제고되었다.

1995년 11월 이전 설치 배관은 공사계획승인, 신고구간 중 20%에 대하여 감리를 실시하는 일반시공감리를 하여왔으나 1995년 11월 이후부터는 법정

Table 1. High pressure pipeline distribution length

단위 : (m)

지역	15년 미만		20년 이상		총길이
	15년 미만	15년 이상 20년 미만	20년 이상 30년 미만	30년 이상	
울산	224,741	56,949	290,993	64,340	637,023
여수	21,895	13,133	73,580	7,000	115,608
대산	22,183	-	1,485	-	23,668
기타	72,599	10,720	33,905	-	117,224

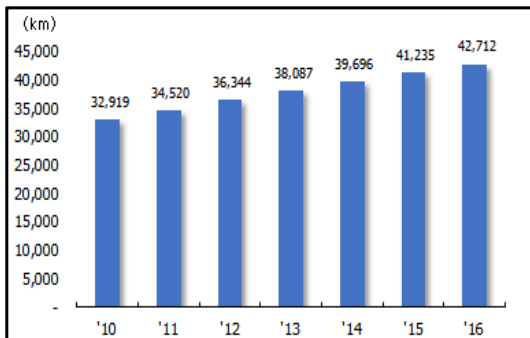


Fig. 1. urban gas underground pipeline length (2016).

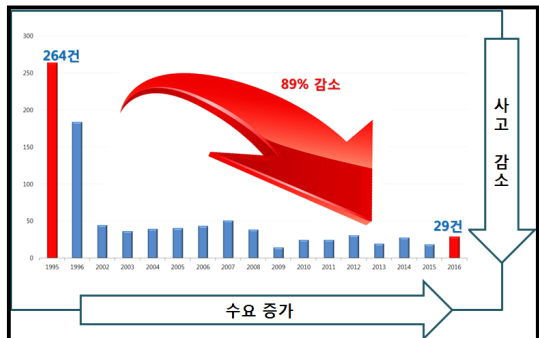


Fig. 2. Number of accidents per year (1995~2016).

Table 2. Change of urban gas institution

	도시가스 관련 제도 변화
1995.11	상주시공감리 제도
1995.11	배관점검원 제도 (배관길이 15km 당 1인)
2003.5	정밀안전진단
2008.7	굴착공사정보지원센터
2010.7	안전점검원 업무 확대 (안전관리자 업무 수행가능)
2013.8	안전관리수준평가
2018.1(예정)	IMP(배관건전성평가)

Table 3. One-Call System introduction background

도입 배경
1. 굴착공사에 의한 배관손상 사고 지속발생
2. 배관손상사고의 지속적 증가
3. 대형사고 발생가능성 잠재
4. 굴착관련 의무이행 절차 복잡
5. 지역별 도시가스배관 운영 주체 상이
6. 굴착현장 안전관리 소홀

검사원의 착공에서부터 완공시까지 공사현장에 상주하여 시공 상태를 감리하는 상주시공감리로의 제도 도입으로 배관 등의 안전 시공이 담보되는 결과를 가져왔다.

기술적으로는 도시가스회사별로 도면과 실제설치배관의 일치여부를 확인하기 위해 배관탐측팀을 2~3년 유지하는 등 배관도면의 신뢰도를 향상시켰으며, 라인마크, 보호포 및 보호관 설치, 일정 구간별 블록 밸브 설치 등의 지속적인 노력으로 안전관리가 크게 향상되었다.

(2) EOCS (Excavation One-Call System)

굴착공사정보지원센터 EOCS (Excavation One-Call System)는 굴착공사로부터 도시가스배관의 파손사고 예방을 위한 굴착공사정보지원 업무를 효

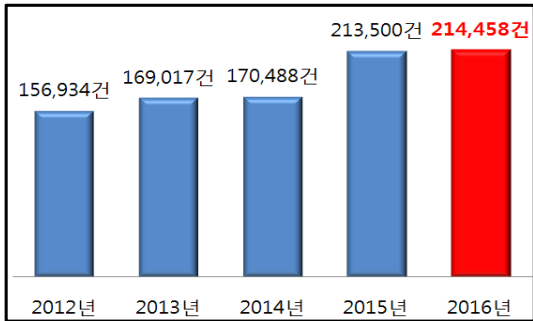


Fig. 3. Reception status of urban gas excavation work.

Table 4. Comparison before and after introduction

도입 전					
'04	'05	'06	'07	'08	평균
6	6	5	4	7	5.6

↓

도입 후								
'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	평균
1	3	3	3	2	5	4	7	3.5

율적으로 수행하기 위한 기구이다. 2009년부터 굴착공사 정보지원센터를 설립하여 굴착공사정보와 배관매설 정보를 연계한 시스템을 구축 후 사고 예방의 효과를 거두었다.

원콜시스템이 도입이 된 배경으로는 Table 3과 같이 굴착공사사고 및 타공사 문제점이 발생함으로써 배관예방 및 안전성 향상을 위해 도입이 되었다.

원콜시스템 도입 후 Fig. 3과 같이 지속적으로 굴착신고가 증가되었고 2016년에는 굴착계획신고 총건수는 214,458건으로 5년간 평균 8.4%가 증가함을 볼 수 있다.

굴착공사 신고 수가 증가한 이유는 전화 또는 인터넷으로 허가자료를 볼 수 있으며, 이를 통하여 간단한 신고방법과 정확한 배관망구축정보를 얻을 수 있기 때문이다. 이로 인해 배관관리가 잘 이루어져 굴착현장의 안전성을 확보할 수 있게 되었다.

굴착신고의 의무화로 인하여 미신고 굴착공사가 감소하였고, 안전의식이 높아짐으로써 사고 발생률

도 감소하였다. 워크시스템의 도입 전과 도입 후의 타공사 사고빈도를 분석하였더니 Table 4와 같이 도입 전 5.6건에서 도입 후 연평균 3.5건으로 약 38%가 감소한 것을 볼 수 있다.

(3) 안전점검원의 순찰주기 및 점검사항

도시가스의 경우 배관점검원은 안전관리인력의 약 40~50%가 굴착공사 업무를 담당하고 있다.

안전점검원의 순찰 중 주요 점검사항으로는 굴착공사 및 정후 발견보고, 굴착공사 작업내용 및 진행사항 보고, 배관매설 주위의 지형·지반의 변동여부 확인, 배관 부속시설물의 위치·상태 점검 및 유지관리, 천재지변으로 인한 특별 사항 발생시 이상상태 보고 등의 업무를 수행하고 있다. 이처럼 안전점검원을 통한 지속적인 안전관리를 하여 가스사고 발생을 방지하고 있다.

(4) 고압가스 매설배관 관련 제도

고압가스 매설배관은 상주시공감리제도 도입 이전인 2001년 7월에 일반시공감리 및 자체시공감리로 매설관리되어 왔으며 2001년 7월 이후 도시가스 및 마찬가지로 상주시공감리제도가 도입되었다.

그 이후 배관 굴착시 신고를 의무화하는 EOCS 제도는 2015년 7월에 도입되었다.

Table 5와 같이 고압가스 매설배관 관련 제도는 도시가스 매설배관에 비해 배관 정밀안전진단이나 배관점검원에 관한 규정이 없는 실정이다.

타공사 예방을 위한 배관순찰은 회사별 안전관리자가 기존의 안전관리업무와 겸임하여 매설배관에 대한 순찰업무를 추가하여 자율적으로 관리운영

Table 5. Underground Pipeline institution comparison

구분	도시가스배관 (도시가스 사업법)	고압가스배관 (고압가스 안전관리법)
정기 검사	매 1년 (법 제17조,규칙 제25조)	4년(대형시설), 1년 법 제16조의 2)
EOCS	2008년 7월 11일 시행 (법 제 30조의 2)	2015년 7월 29일 시행 (법 제 23조의 2)
정밀 안전 진단	중압배관 : 20년 이상배관 대상 매 5년 고압배관 : 15년 이상 배관 대상 매 5년	규정 없음
배관 점검원	매 15Km마다 1인 선임 1일 1회 이상 순찰	규정 없음

되고 있다.

2.3. 사고사례 분석

최근 5년간 발생한 도시가스와 고압가스의 사고 현황을 비교해 보았다. Table 6과 같이 연평균 가스 사고 점유율에 따른 사고 증감률은 도시가스 1.0%가 감소하였고, 고압가스는 19.7%가 증가하였다.

이와 같이 증감한 가스사고의 원인별로는 취급부주의, 사용자취급부주의, 시설미비, 타공사, 제품

Table 6. Gas accident status(2012~2016)

연도 구분	2012	2013	2014	2015	2016	점유율
도시 가스	31	20	28	19	29	21.0%
고압 가스	9	15	16	15	18	12.0%

Table 7. Occurrence of accident by excavating machine(2005~2016)

구분	굴착기	천공기	기타	계
2005년	1	1	4	6
2006년	-	1	5	6
2007년	-	-	5	5
2008년	-	1	6	7
2009년	-	-	1	1
2010년	-	1	4	5
2011년	1	-	2	3
2012년	2	1	-	3
2013년	2	-	-	2
2014년	3	1	1	5
2015년	3	1	-	4
2016년	6	2	-	8
계	18	9	28	55(건)
점유율(%)	32.7	16.4	50.9	100(%)

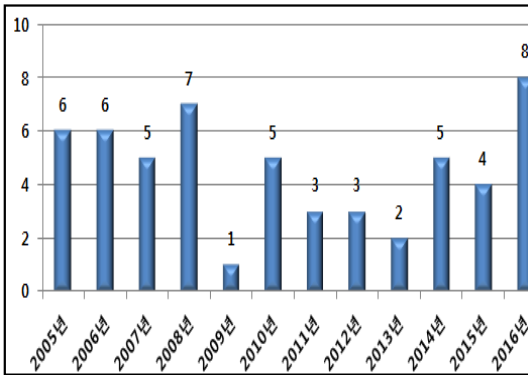


Fig. 4. Excavation work accidents(2005~2016).

노후로 분류하고 있다. 기술적 발전과 시스템의 첨단화를 통하여 사고 예방이 가능해졌고, 이에 따라 부식 및 시공결함 등의 사고가 현저히 줄어들었다.

타공사 사고는 주로 굴착공사를 실시할 때 장비에 의하여 사고가 발생한다. 타공사 사고의 경우 예측이 어렵고, 우연적으로 발생하는 사고가 많아 주의가 요구되지만 지속적인 사고 관리를 수행한다면 충분히 사고를 감소시킬 수 있는 요소이다.

타공사 사고는 주로 현장굴착공사에서 배관 주위 굴착공사를 실시할 때 장비에 의하여 사고가 발생한다. Table 7, Fig. 4와 같이 2005년부터 2016년까지의 굴착기계 종류에 따른 사고 현황을 나타내었다.

포크레인, 스키머 등의 굴착기로 인한 사고가 18건(32.7%), 천공기에 의한 사고가 9건(16.4%), 기타 장비에 의한 사고는 28건(50.9%)으로 총 55건의 타공사 사고가 발생하였다.

도시가스과 고압가스를 막론하고 지속적으로 타공사에 의한 사고가 발생하고 있다.

따라서, 타공사 사고를 줄이기 위해서는 사전에 철저한 안전교육을 실시하여야 하고, 배관손상방지 기준을 준수하여 굴착현장에 대한 감독 및 순찰 강화가 필요할 것으로 사료된다.

III. 피해영향 분석

3.1. 도시가스 및 산업단지 매설배관 피해영향 분석

도시가스 매설배관의 경우는 단일 물질인 기체 상태의 천연가스가 흐르고 있지만 산업단지를 통과하는 매설배관의 경우, 다양한 독성, 가연성가스가 흐르고 있다. 이러한 매설배관의 사고발생은 화재·폭발·독성 등을 지닌 가스의 누출을 일으켜 큰 인

Table 8. Material property of industrial estate

특성	가스 종류
가연성	수소, 일산화탄소, 에틸렌, 부타디엔, 부탄, 1,3-butadiene, 1,2-butadiene, 프로필렌, 나프타, 벤젠, 헥산, 이소부탄, VCM
독성	일산화탄소, 에틸렌, 1,2-butadiene, VCM
고압	수소, 질소, 이산화탄소, 산소, C4-RAFFINATE-2, C4-RAFFINATE-3

Table 9. Standard of ERPG

EPRG : Emergency Response Planning Guideline	
ERPG-1	거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 오염 물질의 냄새를 인지하지 못하거나 건강상 영향이 나타나지 않는 공기 중의 최대 농도
ERPG-2	거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 보호 조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상의 영향이 나타나지 않는 공기 중의 최대 농도
ERPG-3	거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 생명의 위험을 느끼지 않는 공기 중의 최대 농도

적·물질 피해를 야기한다.

산업단지 매설배관의 유체는 가연성, 독성, 고압 등의 다양한 성질을 갖고 Table 8과 같이 나타난다.

미국 해양대기국(NOAA)에서 개발한 피해예측 프로그램인 ALOHA(Areal Location of Hazardous Atmospheres)을 활용하여 도시가스 및 산업단지 고압가스의 주요물질인 도시가스와 암모니아(독성), 에틸렌(가연성)의 3가지 물질에 대한 사고시나리오(초기조건)를 정하여 화재, 누출에 관한 피해영향 분석을 수행하였다.

독성가스의 경우 산업용으로 많이 쓰이는 암모니아를 선정하였다. 물질의 정보는 MSDS에서 인용하였으며 독성기준은 ERPG를 참고하였다. ERPG는 비상대응계획 수립시 농도 지침으로 1시간에 노출되는 경우 개인에게 미치는 영향을 3단계로 구분한다. 단계별 내용은 Table 9와 같다.

암모니아의 정보는 Table 10과 같다.

가연성가스의 경우는 메탄과 에틸렌을 선정하였다. 물질의 정보는 MSDS를 참고하였으며, Table 11과 같이 매설배관 사고로 인한 화재 발생에 따른 복사열을 3단계로 나누어 표현하여 “사망”, “2도 화상”, “고통 느낌”으로 구분할 수 있다.

Table 10. Ammonia information

독성가스(암모니아)			
유체명	Ammonia	인화·발화점 (°C)	11
상태	액체	LC50	2,000ppm/4hr
비중	0.77g/m ³	TWA	25ppm
밀도	0.73kg/m ³	ERPG - 1	25ppm
연소범위 (%)	15.5~28	ERPG - 2	200ppm
최소발화 (점화)에너지	680	ERPG - 3	1000ppm

Table 11. Damage effects of radiant heat

사망	2도 화상	고통 느낌
10 kW/m ²	5 kW/m ²	2 kW/m ²

가연성가스(메탄, 에틸렌)의 정보는 Table 12와 같다.

시나리오 선정의 요소로는 물질, 온도, 습도, 운량, 풍량, 대기안정도, 공기환기율, 배관길이, 환경, 공급압력 등을 결정하였다.

독성가스에 대한 피해영향 시나리오에 대한 내용은 Table 13과 같다.

울산을 기준으로 피해영향 시나리오 작성을 하였다. 울산의 연평균 기상조건에 맞게 온도, 습도, 운량 등을 구성하였으며, 해당 물질배관에 대한 환경 및 공급압력을 A사 업체의 조건을 따랐다. 관측 지점, 풍속 및 대기안정도는 “최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE P-107-2016)”에 따라 대안의 누출 시나리오에 해당하는 것으로 정하였다.

가연성가스에 대한 피해영향 시나리오에 대한 내용은 Table 14과 같다.

피해영향범위 분석 결과는 Fig. 5~10으로 나타난다. Fig. 5는 암모니아 누출에 대한 피해영향범위를 나타낸 것이다.

Fig. 6은 시나리오에 따른 암모니아의 피해영향범위를 Google Earth 지도상에 표현한 것으로 ERPG 기준 피해영향범위 예측은 Table 15와 같다.

Table 12. NG, Ethylene information

가연성 가스(NG)			
유체명	Methane(NG)	인화·발화점 (°C)	-153
상태	기체	LC50	50
비중	0.555g/m ³	TWA	-
밀도	0.554kg/m ³	ERPG - 1	-
연소범위 (%)	5~15	ERPG - 2	-
최소발화 (점화)에너지	-	ERPG - 3	-
가연성 가스(에틸렌)			
유체명	Ethylene	인화·발화점 (°C)	-136
상태	기체	LC50	-
비중	0.9686g/m ³	TWA	200ppm (ACGIH규정)
밀도	1.18kg/m ³	ERPG - 1	-
연소범위 (%)	2.7~36	ERPG - 2	-
최소발화 (점화)에너지	0.07	ERPG - 3	-

Table 13. Scenario of extent of damage impact range(toxicity)

피해영향범위 시나리오(독성)	
물질명	암모니아
평균온도(°C)	16.7
평균습도(%)	65
평균운량	5.0
관찰지점(m)	10
풍속(m/s)	3
대기안정도	D(보통)
공기환기율	0.33
배관길이(m)	5,000
관경(mm)	250
공급압력(kgf/cm ²)	19

Table 14. Scenario of extent of damage impact range(combustibility)

피해영향범위 시나리오(가연성)		
물질명	에틸렌	메탄
평균온도(°C)	16.7	
평균습도(%)	65	
평균운량	5.0	
관찰지점(m)	10	
풍속(m/s)	3	
대기안정도	D(보통)	
공기환기율	0.33	
배관길이(m)	5,000	
관경(mm)	300	250
공급압력(kgf/cm ²)	45	8.2

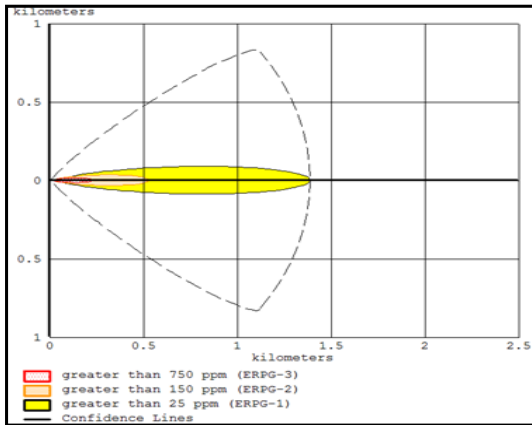


Fig. 5. Scenario of extent of damage impact range (ammonia)-1.

Fig. 7은 NG 화재시 복사열에 대한 피해영향범위를 나타낸 것이다.

Fig. 8은 시나리오에 따른 NG의 피해영향 범위를 Google Earth 지도상에 표현한 것으로 복사열에 따른 피해영향범위 예측은 Table 16과 같다.

Fig. 9는 에틸렌 화재시 복사열에 대한 피해영향범위를 나타낸 것이다.

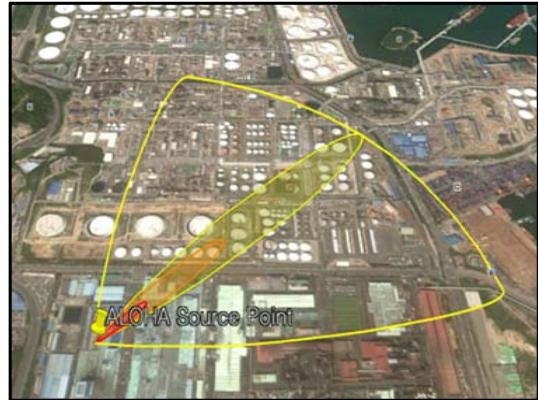


Fig. 6. Scenario of extent of damage impact range (ammonia)-1.

Table 15. extent of damage impact range (ammonia)

피해영향범위(암모니아)	
ERPG - 1	1,400m
ERPG - 2	520m
ERPG - 3	240m

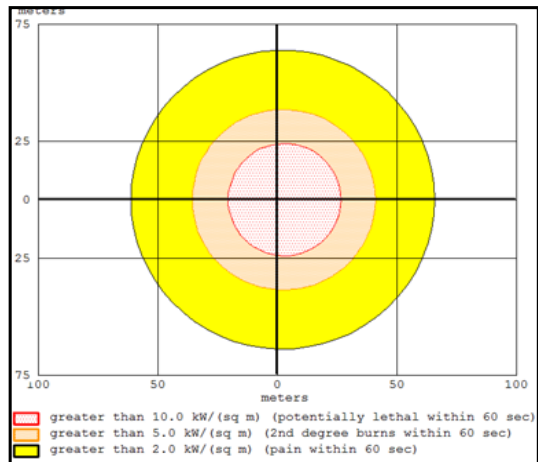


Fig. 7. Scenario of extent of damage impact range (NG)-1.



Fig. 8. Scenario of extent of damage impact range (NG)-2.

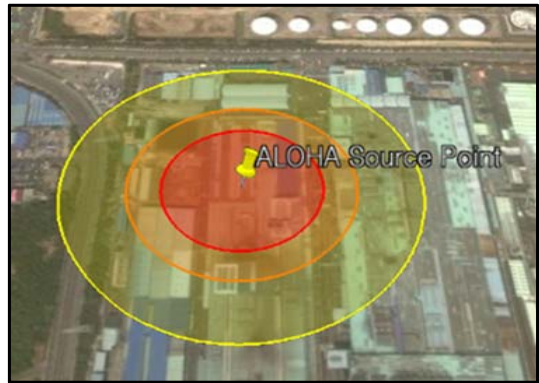


Fig. 10. Scenario of extent of damage impact range(ethylene)-2.

Table 16. extent of damage impact range(NG)

피해영향범위(NG)	
2kW/m ²	75m
5kW/m ²	30m
10kW/m ²	26m

Table 17. extent of damage impact range(ethylene)

피해영향범위(에틸렌)	
2kW/m ²	210m
5kW/m ²	135m
10kW/m ²	70m

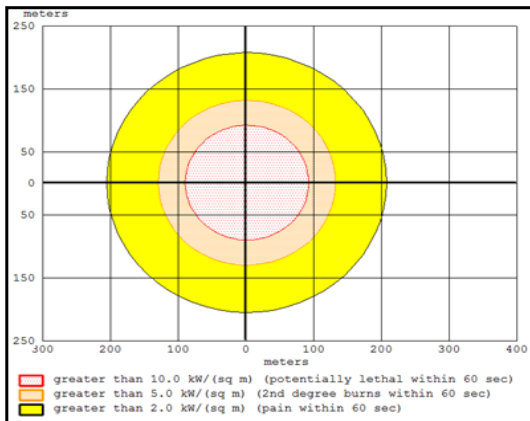


Fig. 9. Scenario of extent of damage impact range (ethylene)-1.

Fig. 10은 시나리오에 따른 에틸렌의 피해영향범위를 Google Earth 지도상에 표현한 것으로 복사열에 따른 피해영향범위는 Table 17과 같다.

산업단지 매설배관에 흐르는 독성가스로는 액화

가스이면서 독성가스인 암모니아를 선정하였으며, 가연성가스로는 상대적으로 연소범위 하한이 낮고 상·하한의 차이가 큰 에틸렌을 선정하였다.

가연성 가스로는 에틸렌이 도시가스에 비해 피해영향범위가 큰 것으로 나타났으며, 독성가스 또한 피해영향범위가 클 뿐만 아니라 인접매설배관에 영향을 줌으로 인해서 더 큰 위험성이 초래될 수 있다.

물질을 세 종류로 정하고 피해영향범위 분석을 한 결과 단일 종류의 도시가스 매설배관에 비해 다양한 종류의 고압가스 매설배관에 흐르는 가스의 경우 독성이나 복사열에 대한 피해영향범위가 더 큰 것으로 나타났다.

IV. 결론

산업단지내 고압매설배관의 안전관리제고를 위하여 도시가스 매설배관과 산업단지 매설배관의 현황과 제도비교, 피해영향범위 분석비교를 고찰해보았다.

도시가스 매설배관의 경우 산업단지 매설배관에 비해 20년 이상 노후배관에 대한 정밀안전제도, 안

전점검원, 안전관리수준평가, 배관건전성평가 제도 등 많은 제도적 보완이 이루어져왔음을 알 수 있으며, 산업단지 매설배관의 경우 20년 이상 노후배관으로 상주시공감리제도 도입 이전에 설치된 배관이 과반 이상을 점하고 있음을 알 수 있다.

피해영향 분석결과는 도시가스 매설배관에 비해 산업단지 매설배관이 피해영향범위가 큰 것으로 나타났다.

도시가스 매설배관과 산업단지 매설배관의 안전관리방식, 제도, 피해영향에 대한 비교분석 내용을 고려하고 향후 배관손상에 영향을 미치는 잠재위험들의 우선순위(가중치 선정)를 결정하고 투입비용 대비 리스크 저감 효과분석을 위한 추가연구를 통하여 과학적이고 합리적인 배관점검 모델 마련이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년 에너지기술평가원 사업과제 “매설고압가스배관 신뢰도기반 설계 및 평가 시스템 개발” 사업의 지원을 받아 수행하였음에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Korea Gas Safety Corporation, “Gas accident Yearbook 2016”, Korea Gas Safety Corporation(2017)
- [2] Ministry of Trade, Industry and Energy, “Statistical yearbook of energy 2015”, Korea energy economics institute (2016)
- [3] Korea City Gas Association, “Annual city gas statistics”, Korea City Gas Association(2017)
- [4] KOSHA, 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침”, KOSHA GUIDE(2016)
- [5] Ministry of Government Legislation, “City Gas Business Act Article 15, Article 17, Article 17-2, Article 30-2”, Ministry of Government Legislation
- [6] Ministry of Government Legislation, “High Pressure Gas Safety Management Act Article 16, Article 16-2, Article 23-2”, Ministry of Government Legislation
- [7] KOSHA, “KOSHA Chemical information(MSDS)”, KOSHA