



산업단지 고압매설배관의 손상확률 평가

김진준* · †이광원 · 최현웅* · 최지헌

호서대학교 안전보건학과, 호서대학교 수소에너지안전기술공학과*,
(2019년 1월 8일 접수, 2019년 2월 27일 수정, 2019년 2월 28일 채택)

An Assessment Pipe Damage Probability of High Pressure Underground Pipeline in Industrial Estate

jin-jun Kim* · †Kwang-Won Rhie · hun-ung Choi* · ji-hun Choi

Dept. of Safety and Health Engineering, Hoseo University

**Dept. of Hydrogen Energy and Safety Technology Engineering, Hoseo University*

(Received January 8, 2019; Revised February 27, 2019; Accepted February 28, 2019)

요약

울산, 여주 등 산업단지의 고압매설배관에서 발생할 수 있는 굴착공사 등 타 공사로 인한 중대사고의 발생빈도를 도시가스 매설 배관과 비교하여 FTA에 의해 기초사상(Basic event)을 도출하여 제시한다. 또한 굴착빈도, 순찰 주기 등 배관손상 영향인자를 관찰 및 분석하고, 이들 인자의 중요도와 민감도를 Risk 비교분석을 통해 구해봄으로써 고압가스매설배관의 안전성 향상에 기여한다.

Abstract - The frequency of major accidents which has probability of occurrence at the high pressure underground pipeline of industrial estate such as an Ulsan, Yeo-ju by the other construction such as an excavation work will be compared to city gas underground pipeline to derive the basic event by the FTA and present. Also, Observe and analyze the pipe damage impact factor such as an excavation frequency, patrol cycle. As a result, It contributes to the safety improvement of high pressure gas buried pipeline due to obtain importance and sensitivity of the pipe damage impact factors.

Key words : high-pressure gas, industrial estate, probability of pipe damage

I. 서론

산업단지 내의 고압매설배관은 다른 원료물질과 함께 같은 도로상에 복잡하게 매설되어 있고 또한 고압으로 인해 도로굴착 공사 시 타 공사 등으로 선행연구에서 제시한 바와 같이 도시가스보다 약 5 배 이상의 타 공사 사고빈도가 나타나고 있다.

이에 본 논문에서는 타 공사에 영향을 미치는 배관손상 영향인자를 비교분석하고 FTA에 의해 타 공사에 의한 손상 발생빈도를 도시가스 배관과 비교하여 도출한다.

II. 타 공사 사고 발생빈도

본 논문에서는 타공사에 의한 매설배관의 손상 빈도를 산업단지배관과 도시가스배관, 외국의 사례를 비교, 분석하고, 순찰원, 도로표시 등 타공사에 의한 손상발생에 영향을 주는 인자들을 고려하여 합리적인 안전점검 방안을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 FTA기법을 활용하였으며, 배관손상에 영향을 주는 각 기초사건에 대한 빈도값들을 결정하였다.

2.1 FT 작성과 기초사건 값

객관성 유지를 위하여 Q.Chen과 M. Nessim의 “배관의 물리적 손상에 대한 신뢰도 기반의 예방 (Reliability-based prevention of Mechanical Da-

†Corresponding author:kwrhie@hoseo.edu

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

Table 1. Frequence for basic events

No.	Event	Reference		Freq. of Korea	
		condition	Freq.	condition	Freq.
B1	Excavation near the pipeline	High density residential	2.0/km-year	Ulsan	1.7924/km-year
		Low density residential	0.57/km-year	Yeosu	0.1666/km-year
B2	Third party unaware of one-call	advertising via direct mail-outs&promotion among contractors and excavator operators	0.24	-	0.1
		community meetings only	0.50		
		all above	0.10		
B3	Right-of-way signs not recognized	Signs at selected crossings	0.23	same left	
		Signs at all crossings	0.19		
		Signs at all crossings plus intermittently along route	0.17	same left & linemark	0.17 0.085
B4	Failure of permanent markers	No buried markers	1.0	same left	
		With buried markers	0.1	with patrols	0.05
				with patrols + linemark	0.025
B5	Third party chooses not to notify	Voluntary	0.58	-	0.1
		Mandatory	0.33		
		Mandatory with civil penalty	0.14		
		Right-of-way agreement	0.11		
B6	Third party fails to avoid pipeline	-	0.40	same left	
B7	ROW patrols fail to detect activity	2/1day	13%	same left	
		1/1day	30%		
		0.5/1day	52%		
		1/week	80%		
		0.5/week	90%		
		1/month	95%		
		2/year	99%		
1/year	99.6%				
B8	Activity not detected by other employees	-	97%	industrial area: 1 City Gas 0.97	
B9	Excavation prior to operator's response	same business day	2%	same business day	2%
		within two business days	11%		
		within three business days	20%		
B10	Temporary mark incorrect	Company records	20%	same left	
		Magnetic techniques	9%		
		Pipe locators/Probe bars	1%		
B11	Accidental hitting from properly indicated pipe	Provide route information	35%	-	3%
		Locate/mark	17%		
		Locate/mark/site supervision	3%		
		Pipe exposed by operator	6%		
B12	Excavation depth exceeds buried piping depth	0.8m (2.5ft)	42%	1.0m	0.086
		0.9m(3ft)	25%	1.2m	0.080
				1.5m	0.070
		1.2m(4ft)	8%	1.7m	0.064
				1.9m	0.058
		1.5m(5ft)	7%	2.0m	0.054
				2.5m	0.038
1.8m(6ft)	6%	3.0m	0.022		
			4.0m	0	

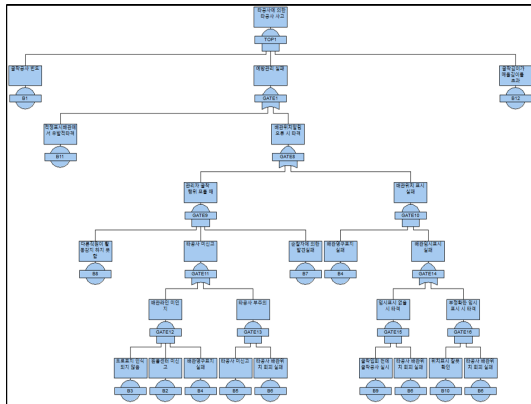


Fig. 1. FT diagram of physical damage of pipe

mage to Pipelines)연구[1]에서 사용된 FT도를 기반으로 하였으며, 기초사건의 빈도값들은 국내의 실정에 맞게 보완, 결정하였다. Fig 1과 같이 FT도는 Q.Chen[1]의 연구에서 제시된 것을 인용하였으며, 12개의 기초사건의 빈도 값은 국내의 현실에 맞게 Table 1과 같이 조정하였다.

다음은 타공사에 의한 배관손상에 영향을 미치는 12개의 기초사건에 대한 정의와 빈도값을 분석하였다.

2.1.1 배관라인근처 굴착(B1)

굴착공사의 빈도는 선행 연구로 진행한 “산업단지 고압매설배관 안전관리 향상 방안 연구”를 통하여 2009년부터 2017년까지의 산업단지와 도시가스의 굴착신고건수 기준 아래 수식을 통해 도출하였다

$$\text{굴착빈도} = \frac{\text{총굴착공사수}}{\text{총관찰배관길이}} \quad (\text{건}/\text{km} \cdot \text{yr}) \quad (1)$$

울산 지역에서 도시가스를 공급하는 공급배관 2,024km에 대해 9년 간 관찰한 총 관찰길이는 18,216km, 굴착공사 횟수는 65,287건, 굴착 빈도는 1km · year 당 3.5회로 나타났고, 울산 산업단지 고압가스배관의 길이는 약 653km 총 관찰 길이는 5,877km, 굴착공사 횟수는 10,629건, 굴착 빈도는 1km · year 당 1.8회로 조사되었다.[2],[5]

여수 도시가스배관의 경우 총 관찰 길이는 2,385km, 굴착공사 횟수는 3,964건, 굴착 빈도는 1km · year 당 1.6회로 나타났고, 여수 산단 고압가스배관의 총 관찰 길이는 1,584km, 굴착공사 횟수는 290건, 굴착 빈도는 0.18회로 나타났다.

Table 2. Awareness of One-Call System

Promote method	Unrecognition probability(%)
Community meeting(eg: Meeting with landowner)	50%
Direct mail promotion + Promotion between contractors and excavator operators Or Mass media + Direct mail promotion + Promotion between contractors and excavator operators	24%
Direct mail promotion + Promotion between contractors and excavator operators + Community meeting	10%

Table 3. Right-of-Way Warning Signs

Unrecognized location of Road sign	Ratio(%)
Signs at all crossings plus intermittently along route	17%
Signs at all crossings	19%
Signs at selected crossings	23%

2.1.2. One-Call 센터 미인지(B2)

One-Call 센터 미인지의 인식개선 등이 높아져 미신고 하는 경우는 많이 감소한 것으로 추정되나, 시공 업체가 인식하고 있는 확률이 얼마인지를 제시할 수 있는 데이터는 국내에 없어 Table 2과 같이 문헌[1]에서 제시하고 있는 One-Call 센터 인식 확률을 고려하여 0.1의 확률 값으로 추정하였다.

2.1.3 도로 표시 인식되지 않음(B3)

산업단지 특성상 잦은 도로 공사 등으로 인하여 배관의 위치를 알려주는 라인 마크, 표지판 등을 인식하지 못하는 사건으로 경고 표지판 위치와 빈도에 따라 제 3자가 매설배관의 존재를 인식하지 못하는 가능성은 Table 3과 같이 추정하였다.

2.1.4 배관 영구 표지 실패(B4)

매설되어 있는 배관을 표시 및 감지할 수 있는 표지판, 보호판이 없거나 있어도 망실되어 있는 확률을 의미한다. 보호호는 굴착 공사 시 배관이 매설되어 있음을 알리는 것으로도 2/3의 타 공사 사고 방지 효과가 있다. 매설된 표시가 없을 때의 사

Table 4. Failure probability to cover pipe permanently

Definition of basic event	Condition	Probability(%)
The absence of Buried sign	Buried sign	100%
The presence of Buried sign	The presence protective cloth	4%
	the absence protective cloth	10%

Table 5. Failure probability to Third party chooses not to notify

Voluntary	58%
Mandatory	33%
Mandatory plus civil penalty	14%
Right-of-way agreement	11%

고 빈도는 1로 나타냈고, 매설된 표시가 있으면서 표시판, 보호포가 있을 경우 0.04, 표시판만 있고 보호포가 없을 경우 0.1로 추정하였다.

2.1.5 타공사미신고(B5)

타 공사를 실시하면서 One-Call 센터에 신고를 하지 않을 확률을 의미한다. One-Call 센터의 경우 도시가스는 “도법 제 30조의2(2008년 7월 시행), 고압가스는 “고법 제 23조의2(2015년 7월)에 따라 굴착공사로부터 배관의 파손 사고를 예방하기 위한 EOCS제도를 도입하고 있다. 굴착 공사 신고의 제도화로 인한 타 공사 미신고 빈도는 0.1로 추정하였다.

타공사를 시행하면서 One Call센터에 신고를 하지 않을 확률을 의미한다. 참고문헌1에서는 다음 표 5와 같이 제시하고 있다.

한국에서는 법제화가 되어있고 홍보 역시 잘 되어있는 경우로 판단하여 타공사 미신고 확률은 0.1로 결정하였다.

2.1.6 타 공사 배관 위치 회피 실패(B6)

타 공사 시 매설배관의 존재 유무를 파악하지 못하고, 굴착을 할 때 배관에 타격을 가하여 사고를 예방하지 못하는 확률을 의미한다. 시공감리 전에 매설한 배관 등 존재 유무가 확실하지 않아 문헌에

Table 6. Failure probability to avoid piping position of the other construction

Definition of basic event	Condition	Probability(%)
Fail to avoid piping position of the other construction	A common case	40%

Table 7. Failure Probability of finding accident by the other construction due to patrol cycle

Patrol cycle	Failure Probability of finding accident by the other construction(%)
2/1day	13%
1/1day	30%
0.5/1day	52%
1/week	80%
0.5/week	95%
1/month	99%

서 제시하고 있는 데이터로 확률을 추정하였다.

2.1.7 순찰자에 의한 발견 실패(B7)

굴착 작업 중인 현장에서 순찰을 하지 않은 경우나, 순찰자가 없는 경우, 순찰 길이 및 주기가 길어서 놓치는 경우를 말한다. 굴착 공사는 순찰 주기에 따라 타 공사 사고 발견 확률이 달라지며, 순찰 주기가 짧을수록 타 공사 사고 발견 확률이 높아진다.

도시가스는 “일반도시가스 사업자 표준안전관리 규정 제 24조 제2항 제1호”에 따라 순찰 점검을 1일 1회 이상 실시하도록 하고 있으나, 산업단지 내 고압가스배관은 순찰 점검 주기가 명확히 정해져 있지 않다. 산업단지 내 고압가스 배관도 도시 가스법에 준하여 순찰주기를 설정한다면 타 공사 사고 발견 확률이 높아질 것으로 예상된다. 문헌데이터를 참고하여 Table 7와 같이 순찰 주기에 따른 타 공사 사고 발견 실패 확률을 참고하였다.

2.1.8 다른 사람이 타공사를 감지 못함(B8)

순찰자 및 점검원이 아닌 다른 직원 등에 의하여 타 공사 여부를 인지하지 못할 확률로 문헌데이터는 0.97로 제시하고 있다.

도시가스 매설배관의 경우 불법 배관 공사, 문제 발생 시 신고(전화) 등에 대한 안내 문구가 존재하지만 산업단지 내의 매설배관은 소유하고 있는 회사

Table 8. Response probability progress excavation construction before excavation conference

Definition of basic event	Condition	Probability(%)
Progress Excavation construction before excavation conference	reply on the same day	2%
	Reply within 2 days	11%
	Reply within 3 days	20%

배관이 정확히 파악되지 않고, 안내 문구 존재여부도 확인되지 않아 불가능 확률 1로 도출하였다.

2.1.9 굴착 입회 전 굴착 공사 실시(B9)

감독자가 없는 상태에서 굴착 허가 전에 굴착공사를 실시하는 확률을 의미한다. 이는 굴착공사신고 시 처리 시간에 의존되며, 문헌에서는 Table 8과 같은 확률 값을 제시하고 있다.

국내는 EOCS(Excavation One Call System)을 통하여 굴착 공사를 간단하게 전화 또는 인터넷으로 신고가 가능하며 확인 처리 기한도 24시간 이내에 당일 응답 받을 수 있어 문헌에서 제시하고 있는 당일 응답 0.02로 나타났다.

2.1.10 위치표시 잘못 확인(B10)

정상적인 감독자 입회하에 실시하는 경우에 배관의 위치를 잘못 확인하는 경우이다. Table 9와 같이 문헌자료에 따라 업체 보유 도면에 의존하는 경우와 배관을 탐측하는 방법 등에서 다른 확률 값을 제시하고 있다.

도시가스 매설배관의 경우 탐측 장비를 이용하여 정확한 배관의 위치를 파악하였으나, 산업단지 내 배관은 배관 소유회사의 도면으로만 배관 위치를 파악하고 있는 실정으로, 도시가스배관은 0.01, 산업단지 배관은 0.2로 추정하였다.

2.1.11 적정표시배관에서 우발적 타격(B11)

매설된 배관에 적정 표시가 되어 있음에도 불구하고, 사고성으로 배관을 타격하는 확률을 의미한다. 2001년 시공감리가 법제화 된 후 굴착공사를 실시할 때 도시가스, 고압가스 사업자 입회하에 공사를 진행하며, EOCS에서 전달 받은 위치, 표시 등 확인을 통해 굴착공사로 인한 사고를 사전에 방지하고 있다. 산업단지 내에서 우발적인 타격이 발생할 확률 데이터가 부족하여 문헌자료에 따라 확

Table 9. Identifying probability of buried pipe location

Definition of basic event	Condition	Probability(%)
Misidentify location marking	Basis by company record	20%
	Magnet technique	9%
	Pipe location / equipment for investigate	1%

Table 10. Probability of accidental hitting from properly indicated pipe

Definition of basic event	Condition	Probability(%)
Accidental hitting from properly indicated pipe	Provide route information	35%
	Location / Sign	17%
	Location / Sign / Field supercision	3%
	Pipes exposed by hand	6%

률 값을 0.03으로 추정하였다.

2.1.12 굴착 깊이가 매설 깊이를 초과(B12)

울산 및 여수의 산업단지 고압매설배관의 매설 깊이에 따른 총 배관 길이를 “KGS, 산업단지 매설 배관 현황 데이터”와 문헌데이터, 직접 현장 방문 조사를 통하여 분석해보았다.

울산·여수 산업단지는 대부분 1.2m~1.5m 깊이에 배관을 매설하고 있고 울산 산업단지의 배관 길이는 각 93.2(1.2m), 339.2km(1.5m)로 전체 약 94%이며, 여수 산업단지 배관 길이는 각 31.5(1.2m), 42.0(1.5m)로 전체 약 81%의 길이를 차지하고 있다.

각 매설깊이(A)마다 총 배관 길이(B)는 (2)과 같은 식을 통하여 전체에서 차지하는 비율을 나타냈고, 울산 및 여수 산업단지의 평균 매설 깊이(F)는 (3)과 같은 식을 통해 산출하였다. 굴착 깊이가 매설 깊이를 초과하는 확률은 (4)과 같은 식을 통하여 여수 및 울산 산업단지의 값을 산출하였다.

$$[C] = \text{총배관길이} [B] \div \text{합계} [D] \quad (2)$$

Table 11. Excavation depth Exceeds buried piping depth at Yeosu estates

Yeosu industrial estates			
buried depth [A]	Length of Pipeline due to buried depth (km) [B]	ratio(%) [C]	[P] (Excavation depth>buried depth) (km/%)
1.2m	31.5	34.9	0.080
1.5m	42.0	46.5	0.070
1.7m	4.2	4.7	0.064
1.9m	2.1	2.4	0.058
2.5m	10.4	11.5	0.038
Sum [D]	90.2 [E]	Average depth: 1.53m [F]	Probability average value:0.069 [G]

Table 12. Excavation depth Exceeds buried piping depth at Ulsan estates

Ulsan industrial estates			
buried depth [A]	Length of Pipeline due to buried depth (km) [B]	ratio(%) [C]	[P] (Excavation depth>buried depth) (km/%)
1.0m	1.2	0.25	0.086
1.2m	96.2	20.8	0.080
1.5m	339.2	73.5	0.070
2.0m	4.8	1.04	0.054
3.0m	0.3	0.06	0.022
4.0m	19.9	4.35	0
Sum [D]	640.7 [E]	Average depth: 1.55m[F]	Probability average value: 0.068[G]

$$[F] = (\text{매설깊이} [A] \times \text{비율} [C]) \div 100 \quad (3)$$

$$[P] = 8 - 3.2 \times (\text{매설깊이} [A] - 1.2) \quad (4)$$

(단, 굴착 깊이가 1.2~3.7m)일 때 적용, 4.0m 이상 굴착 깊이는 0)

III. FTA 분석

II장에서 제시한 FT와 기초사건들의 값들을 기반으로 하여 다음 3가지 경우를 비교분석하였다.

- case 1) 타공사에 의한 손상확률(울산)
- case 2) case 1) + 순찰원이 있는 경우

Table 13. Deriving impact frequency value

No.	case1 Non-patrol	case2 patrol 1/day	case3 (City gas)	case4 (Reference)
B1	1.8086	1.8086	3.5840	0.4
B2	0.1	0.1	0.1	0.24
B3	0.23	0.23	0.085	0.19
B4	0.1	0.05	0.025	1
B5	0.1	0.1	0.1	0.33
B6	0.4	0.4	0.4	0.4
B7	1	0.3	0.3	0.9
B8	1	1	0.97	0.97
B9	0.02	0.02	0.02	0.11
B10	0.2	0.2	0.01	0.09
B11	0.03	0.03	0.03	0.03
B12	0.07 (depth 1.5m)	0.07 (depth 1.5m)	0.086 (depth 1m)	0.5
Top	0.00991	0.00582	0.0119	0.4517

- case 3) 도시가스 배관의 타공사 손상확률
- case 4) 외국사례

4가지 case에 사용된 기초사건의 데이터는 다음 표와 같다.

Case1,2의 경우 순찰 유무에 따라 타격빈도가 약 1/2정도로 감소(0.00991 → 0.00582)되었으며, 이는 배관점검원의 순찰이 타공사 감시 및 영구표지판 관리 등으로 타격빈도를 1/2로 감소시킴을 알 수 있다.

도시가스의 경우 타공사 굴착빈도가 산업단지에 비하여 2배 정도 높지만, 배관표시, 순찰원의 존재 등으로 case 1과 비슷하게 나온다.

하지만 산업단지배관의 경우 배관운전압력이 높고 독성가스의 경우 피해면적도 커진다는 점을 고려해야 한다.

FT분석 결과 5개의 m-cutset을 구하였으며, 이들은 표 14에 보여진다.

표 15에는 4가지 case별 각 cutsets의 비중을 표시해주고 있다.

예를 들어 case 1 (산업단지: 순찰없음)의 경우 두 번째 cutset(타공사 미신고, 배관회피실패, 순찰자에 의한 발견실패, 다른직원에 의한 발견 실패)은 비중이 63.77%인 반면, 5번째 cutset(적정표시 배관에서의 우발적 타격)은 26.44%를 보여준다.

Table 14. Minimal cut sets

	Basic event	Common Causes	Major Causes
C1	B1, B12, B2, B3, B4, B7, B8	Excavation near the pipeline, Excavation depth exceeds buried piping depth	Unrecognition of 'One Call' center, Unrecognized Road sign, Fail to cover pipe permanently, Fail to discover by Patroller, No other employees detected activity
C2	B1, B12, B5, B6, B7, B8		Omission of the other construction report, Fail to avoid piping position of the other construction, Fail to discover by Patroller, No other employees detected activity
C3	B1, B12, B4, B6, B9		Fail to cover pipe permanently, Fail to avoid piping position of the other construction, Progress Excavation construction before excavation conference
C4	B1, B12, B4, B6, B10		Fail to cover pipe permanently, Fail to avoid piping position of the other construction, Misidentify location marking
C5	B1, B12, B11		Accidental hitting from properly indicated pipe

Table 15. Frequency of minimal cut set

Frequency of the m. cut sets for each case study								
cut set no	Industrial estate(Ulsan)				City gas		References	
	case1: Non-Patrol		Case2: Patrol once/day					
	Hit Freq.	Ratio(%)	Hit Freq.	Ratio(%)	Hit Freq.	Ratio(%)	Hit Freq.	Ratio(%)
C1	0.000291185	2.03	4.36777E-05	0.61	1.90598E-05	0.15	0.00796176	15.02
C2	0.009158895	63.77	0.002747669	38.45	0.003587727	27.71	0.0230472	43.48
C3	0.000101	0.71	5.06E-05	0.71	6.16448E-05	0.48	0.0088	16.60
C4	0.001013	7.05	0.000506	7.09	3.08E-05	0.24	0.0072	13.58
C5	0.003798	26.44	0.003798	53.15	0.009247	71.42	0.006	11.32

산업단지에서 순찰자가 존재하는 경우인 case2의 경우에는 cutset 2의 비중은 38.45% 인 반면 cutset 5의 비중은 53.15% 이다. 즉 관리적 측면이 강한 cutset 2의 비중이 줄고, 우발적 요소가 강한 cutset 5의 비중이 낮아짐을 볼 수 있다.

III. 결론

산업단지 내 고압매설배관의 안전 향상을 위해 도시가스 매설배관과 고압가스 매설배관의 안전관리 현황 비교분석을 수행하였고, FTA기법을 활용하여 타 공사에 의해 매설배관이 손상에 영향을 미칠 수 있는 빈도를 계산하고 각 중요도와 민감도를 분석하여 최적의 예방 및 관리 방안을 모색하였다. Minimal cut set을 통한 배관순찰이 포함된

Case의 경우, 순찰이 없는 경우보다 타격빈도가 1/2로 감소함을 알 수 있었으며, 총 타격 빈도 값을 배관 라인 근처 굴착횟수로 나눈 타 공사 1회당 타격 빈도 값이 순찰이 있는 경우, 없는 경우보다 1/2로 감소하며, 배관점검관리가 이루어지고 있는 도시가스와 같은 빈도 값을 나타내고 있다. 따라서 배관점검원에 의한 배관관리가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년 에너지기술평가원 사업과제 “매설고압가스배관 신뢰도기반 설계 및 평가 시스템 개발; 과제번호20162220100030” 사업의 지원을 받아 수행하였음에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Q.chen., M, A, Nessim, "Reliability based prevention of mechanical damage to pipelines", *L51816*, 110, (2000)
- [2] Ulsan Yeosu Industrial Complex Pipeline Status Index, Korea Gas Safety Corporation
- [3] Ulsan, Yeosu pipe length and excavation frequency data, EOCS
- [4] HIGH-PRESSURE GAS SAFETY CONTROL ACT, Reliable Ministry of Government legislation
- [5] "Gas accident yearbook 2016", Korea Gas Safety Corporation, (2017)
- [6] "Annual City Gas Statistics", Korea City Gas Association, (2017)
- [7] Ulsan & Yeosu Population density statistic, (2017)
- [8] KGS code : 1)KGS FS551, FS111, FP112
- [9] "Energy Statistics Yearbook 2015", Energy Economics Institute, Ministry of Trade, Industry and Energy, (2016)
- [10] Kim, J. J. et al., " A Study on the Safety Management of high Pressure Underground Pipeline in Industrial Estate" *KIGAS*, 21(6), 30-38, (2017)