



## 산업단지 고압매설배관의 점검 관리 운영 모델 개발

최지현 · †김진준\* · 이광원 · 김태훈\*

호서대학교 안전보건학과, \*호서대학교 수소에너지안전기술공학과  
(2019년 1월 8일 접수, 2019년 2월 20일 수정, 2019년 2월 21일 채택)

## A Development Inspection Management Operation Model of High Pressure Underground Pipeline in Industrial estate

Ji-Hun Choi · †Jin-Jun Kim\* · Kwang-Won Rhie · Tae-Hun Kim\*

*Dept. of Safety and Health Engineering, Hoseo University*

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

*(Received January 8, 2019; Revised February 20, 2019; Accepted February 21, 2019)*

### 요약

울산, 여수 등 산업단지의 고압매설배관은 주변의 석유화학사의 원료 물질 및 스팀 등 유틸리티 지원을 위해 많은 배관이 매설되어 있음은 물론 독성, 가연성 불활성 가스 등이 고압으로 거미줄처럼 복잡하게 매설되어 공급되고 있다.

이에 산업단지배관과 도시가스 매설배관의 안전 관리 현황을 심층 비교 분석한 것을 바탕으로 타 공사에 의한 배관손상 영향인자인 굴착빈도, 굴착 깊이, 순찰 주기 등을 분석하고, 타 공사 위험감소 전략에 따른 위험변화 및 상관관계를 비교하여 산업단지 고압 매설배관에 대한 안전 점검 운영 모델을 제시한다.

**Abstract** - The high pressure underground pipelines of industrial states such as Ulsan, Yeosu consist with not only the pipelines for the utility support such as Raw material of petrochemical industry and steam, but also high pressure pipelines of toxic, flammable gas intricately like a web.

Therefore, in this study, based on in-depth comparison analysis of industrial estate pipelines, and underground city gas pipelines' safety management status, excavation frequency, excavation depth, patrol period which are pipe damage impact factor by the other construction are analyzed. And, as a result, risk changes and correlations due to risk reduction strategy of the other construction are compared to be presented the safety inspection operation model for the high pressure underground pipelines of industrial estates.

**Key words** : external interference, high-pressure gas, industrial estate

### I. 서론

국내 산업단지는 60-70년대 울산을 필두로 여수, 대산 등으로 확대 운영되어왔다. 산업단지의 고압 가스매설배관은 산업단지 특성상 정유사, 석유화학사, 유틸리티사들이 서로 유기적으로 원료물질 등으로 연결되다보니 같은 도로상에 복잡하게 매설

되어있다. 또한 도시가스 매설배관보다는 상대적으로 고압임은 물론 2001년 7월 법적 검사원에 의한 상주시공감리가 도입되기 전에 설치된 15년 이상 배관이 67%를 차지하고 있어 그 위험성을 배가하고 있다. 따라서 타 공사에 의한 사고의 위험성을 FTA 기법을 통해 분석하고 배관손상영향인자의 중요도 및 민감도를 도시가스 매설 배관의 안전관리 방식과 비교, 분석하여 산업단지 고압 매설 배관의 안전관리를 제고한다.

†Corresponding author:jjkim218@gmail.com

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

## II. 매설배관 안전관리 현황 비교

### 2.1. 고압가스 및 도시가스배관의 관련법 비교

도시가스 매설배관은 95년 대구 도시가스의 타공사 사고 이후 배관점검원에 의한 배관 순찰 의무화를 시발로 하여 정밀 안전 진단, 안전관리 수준평가(QMA), 배관 건전성 평가(IMP) 등이 Table 1과 같이 차례로 제도화된 것은 물론 매설 배관에 대한 지상 표시 방법으로 도시가스 배관은 매설 배관 직상부에 50m마다 라인 마크를 설치하고 있는데 반해, 고압 매설 배관은 동일 도로상의 다수의 배관 소유자가 500m마다 1개씩 공동표지판으로 표시할 수 있도록 하는 등 상대적으로 안전관리가 미흡하다고 볼 수 있다.[1][4]

### 2.2. 산업단지 내 대상가스 종류 및 위험성

산업단지 내에는 Table 2와 같이 다양한 물질(독성, 가연성, 불연성 등)이 존재하며, 사고 시 피해영향 범위 분석 프로그램(ALOHA)으로 분석 결과 피해범위가 도시가스(NG)보다 크다.[10]

지난 해 9월 울산 산업단지 내 지하 스템 배관이 폭발하면서 인접한 암모니아 배관이 휘인 사고를

경험했듯이 사고 시 인접한 매설 배관에 더 큰 위험성을 초래할 가능성이 있다. 각 물질의 특성에 따라 사고 형태 및 위험성을 파악하고 주요 인자를 이용하여 Fig. 1과 같이 피해영향범위를 분석하였다.[2]

도시가스(NG), 암모니아(독성), 에틸렌(가연성) 3가지 물질에 대하여 피해범위에 따른 위험도 순위

**Table 2.** Kinds of gases at industrial estate

Characteristic	Kinds of gases
Flammable	Hydrogen, Carbon monoxide, Ethylene, Butadiene, Butane, 1,3-butadiene, 1,2-butadiene, Propylene, Naphtha, Benzene, Hexane, isobutane, VCM, Methane, Ammonia etc
Toxic	Carbon monoxide, Ammonia, AN, VCM, EO etc
Oxidizing	Oxygen
Non-flammable	Nitrogen, Argon, Carbon dioxide etc

**Table 1.** Comparison of major laws for underground pipeline

	City gas Business act	High pressure gas safety management act
Regular inspection	per year/ Article 17, Rule 25	Regular inspection 4 years(Large facility), 1 year/ Article 15-2 of the act, Rule 30, Separate display rules 19
EOCS	Enforce since Jul 11, 2008/ Article 30-2 of the Act	Enforce since Jul 29, 2015/Article 23-2 of the Act
Total Executive Supervision And Control	Enforce since Nov, 1995	Enforce since Jul, 2001
Precision Safety Diagnosis	·Medium pressure Pipe: Pipes over 20 years old, per 5 years ·High pressure Pipe: Pipes over 15 years old, per 5 years / Article 17-2 of the Act, Rule 27-2	No regulation
QMA (Quantitative Management Assessment)	Enforce since Aug, 2013	No regulation
Pipe Inspector	Elect one person/ 15km, Patrol more than once/day/ Article 29, Article 15	No regulation
IMP (Integrity Management Program)	Enforce since Feb, 2014	No regulation



Fig. 1. Damage range.

를 정하여 가중치를 부여하였다.

독성가스와 가연성 가스에 대한 위험성의 직접 비교 기준이 없어 인명 손상 가능 기준을 적용하여 피해 기준을 비교하였다.

사망피해(ERPG-3 및 복사열 10kW/m<sup>2</sup>)을 기준으로 피해거리를 비교한 값은 아래와 같다.

$$\text{독성 : 도시가스 : 가연성} = 162\text{m} : 10\text{m} : 13\text{m} \quad (1)$$

피해 면적은 독성인 경우 타원형, 도시가스 등 가연성인 경우 동심원을 감안하여

독성 : 도시가스 : 가연성의 피해범위를 도출하였다.

$$\left(\frac{162}{10}\right)^2 \times \frac{1}{2} : 1 : \left(\frac{13}{10}\right)^2 = 131 : 1 : 1.69 \text{ (프로펠렌2.89)} \quad (2)$$

### 2.3. 타 공사 사고 현황 분석

도시가스 및 산업단지 고압가스배관에서 발생한 타 공사 사고는 2005년부터 2016년 까지 총 55건으로 굴착기, 천공기, 기타에 의하여 발생하였다. 2016년 기준으로 고압가스 배관 916km와 도시가스 배관 42,711km를 관찰 길이를 같이 하여 타 공사 사고 빈도를 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{고압가스배관타공사빈도} &= \frac{5}{916} \times 12\text{year} \\ &= 0.455(1000\text{km}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{도시가스배관타공사빈도} &= \frac{50}{42711} \times 12\text{year} \\ &= 0.0975(1000\text{km}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

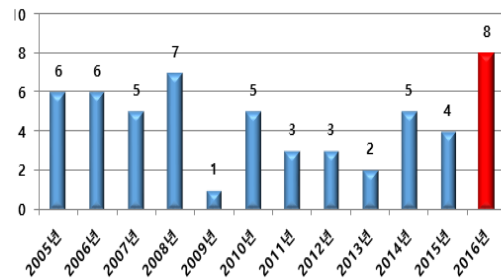


Fig. 2. Annual graph for the accidents by the other construction.

고압가스배관 타 공사 사고 빈도가 도시가스배관 타 공사 사고 빈도 보다 약 5배 정도 높다.[5]

### 2.4. 울산 및 여수 산업단지지역과 도시가스 지역 인구 밀집도 비교

각 지역 시청의 “2017년 인구 현황”자료를 통하여 울산과 여수에 위치한 도시가스 사용지역 및 산업단지지역의 인구 밀집도를 비교해보았다. 도시가스를 주로 사용하는 지역은 인구가 많이 밀집되어 있는 경우가 많으며, 산업단지 고압가스를 사용하는 지역의 경우 비교적 인구밀집도가 낮게 나타났다.

인구 밀집도는 인구수를 연면적(km<sup>2</sup>)으로 나누어 산출하였다. 울산 지역의 산업단지 지역과 도시가스 공급 지역의 인구 밀집도는 Table 3과 같으며 여수 지역의 산업단지 지역과 도시가스 공급 지역의 인구 밀집도는 Table 4와 같다.

울산 및 여수 지역별 인구 밀집도를 비교하면, 울산 지역의 경우 도시가스 공급지역이 산업단지 공급지역에 비해 인구밀집도가 약 13배 많고, 여수 지역의 경우 도시가스 공급지역이 산업단지 공급지역에 비해 인구밀집도가 약 96배 많다.[7]

**Table 3.** Population density in Ulsan

	Administrative district	Population	Area (km <sup>2</sup> )	Density (/km <sup>2</sup> )	
City Gas	Tachwa(Jung-gu)	35,274	5.23	6,379	
	Samsan(Nam-gu)	50,573	5.68	8,904	
	Bang-o(Dong-gu)	44,904	6.04	7,434	
	Nongso3(Buk-gu)	42,076	31.09	1,353	
	sum	243,679	48.34	5,040	
High pressure Gas of Industrial estate	Nam-gu	seon-am	6,138	27.37	224.3
		Yaum-Jang sengpo	5,798	13.0	446.0
	Ulzu-gun	Onsan	24,080	37.6	640.1
		Chung-ryang	16,691	59.9	278.6
	sum	52,707	137.87	382	

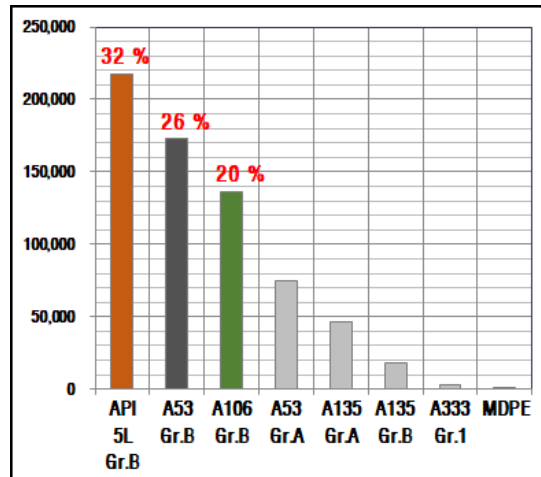
**Table 4.** Population density in Yeosu

	Administrative district	Population	Area (km <sup>2</sup> )	Density (/km <sup>2</sup> )
City Gas	Ssang bong	35,157	7.16	4,910
	Si-jeon	30,949	6.05	5,115
	Yeo cheon	22,648	6.6	3,431
	Mun-su	21,168	2.25	9,408
	Yeo -seo	20,955	2.58	8,137
	sum	130,877	24.64	5,311
High pressure Gas of Industrial estate	Sam-il	2,752	49.45	55.7
	sum	2,752	49.45	55.7

삼일동(행정동)에는 화차동, 월하동, 평야동, 중흥동, 격량동, 월내동, 낙포동)

**2.5. 매설배관에 대한 천공빈도 비교**

산업단지에서 주로 사용되는 배관은 Fig. 3과 같이 API 5L Grade B, A53 Grade B이며, 도시가스에서 주로 사용하는 배관은 SPPG 210 [KS D 3631]이고, 산업단지 배관의 관경은 Table 5와 같이 100~150A, 두께 7.1mm, 8.0mm의 배관을 가장 많이 사용하며, 도시가스 매설배관은 Table 6과 같이 관경 50~100A, 5.5mm, 6mm의 배관을 가장 많이 사용하고 있다.[2][6]



**Fig. 3.** Usage graph for the kinds of underground pipeline in Ulsan and Yeosu industrial estate.

**Table 5.** Status of piping circumference (Ulsan industrial estate)

Piping circumference [A]	Extension length [km]	Ratio [%]
< 100	88,653.4	13.8
100	145,501.1	22.6
150	139,221.8	21.6
200	86,699.7	13.5
250	102,455	15.9
300	71,286.9	11.1
350	9,795	1.5
Sum	643,612.9	100

KGS 프로그램을 사용하여 굴착기 등에 의한 매설 배관타격 시 천공이 발생할 확률은 Table 7과 같다.

산업단지에서 가장 많이 사용 중인 API 5L Grade B [100~150A]를 도시가스지역에서 많이 사용 중인 SPPG 210[50~100A]와 비교하면 산업단지 배관이

Table 6. Status of piping circumference (City gas)

Piping circumference [A]	Extension length [km]	Ratio [%]
< 50	406,715	1
50 ≤	7,239,205	24.34
100	11,822,950	39.76
200	6,278,901	21.11
300	3,844,611	12.93
400	135,818	0.46
500	10,587	0.04
Sum	29,738,787	100

Table 7. Perforation frequency for pipe size and thickness

	Kinds of pipes	Diameter/thickness [mm]	Probability value
Industrial estate	API 5L Grade.B	100[6.0]	0.1255
		150[7.1]	0.0735
City gas	SPPG 210[KS D 3631]	50/4.5	0.4038
		100/4.85	0.3679

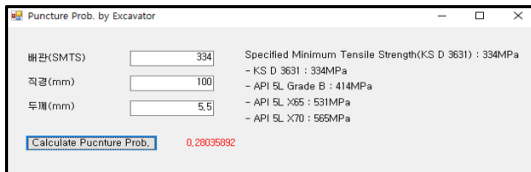


Fig. 4. Perforation frequency for pipe size and thickness.

대체로 크고 두꺼우며, 배관타격 시 천공확률은 도시가스배관이 약 3~5배 높게 나타났다.

### III. FTA 기법을 통한 배관 타격 빈도 분석

타 공사로 인해 배관 손상에 영향을 미치는 주요 요소에 대한 관찰 및 빈도를 분석하고, FTA기법을 활용하여 기초사건의 논리적 연결(Fault Tree) 및 타 공사에 의한 배관 타격빈도를 계산 후 타격에 의한 배관 손상 유형 및 빈도를 고려하고, Risk를 산출하고자 한다.

Q.Chen과 M. Nessim의 “배관의 물리적 손상에 대한 신뢰도 기반의 예방(Reliability-based prevention of Mechanical Damage to Pipe lines) 연구에서 FT도를 차용하고, 분석에 사용되어지는 여러 데이터를 국내의 실정에 맞게 수정하여 Fig. 5와 같이 FT도를 도출하였다.

Fault Tree는 Q.Chen의 연구[10]에서 제시된 것을 사용하였으며, 12개의 기초사건의 빈도 값은 현실에 맞게 Table 8과 같이 조정하였다.[8]

FTA 분석 결과는 문헌 및 국내 사례(순찰 없음, 순찰 있음 1회/일, 도시가스), 국외 문헌을 비교해 보았을 때, 4가지 사례에 대한 타격빈도 값은 Table 8과 같다.

배관라인근처에서의 굴착빈도는 산업 단지의 경우 1.8086/km·year 이고, 도시가스의 경우에는 3.5840/km·year,이며 참고문헌은 0.4/km·year로 외국의 경우 굴착빈도가 매우 낮고, 도시가스배관, 산업단지배관 순으로 나타남에 반해, 국내의 안전관리시스템과 순찰원의 유무 등을 고려하게 되면 타공사에 의한 배관의 타격확률은 하루 한번 순찰이 있을 경우 도시가스와 비슷한 값을 가지며 외국의 경우보다 3배정도 낮으며 이는 우리나라의 배관 관리가 외국에 비하여 잘되고 있음을 시사한다.[10]

산업단지의 고압매설배관에서 case 1, 2의 경우 순찰 유무에 따라 타격빈도가 약 1/2정도로 감소

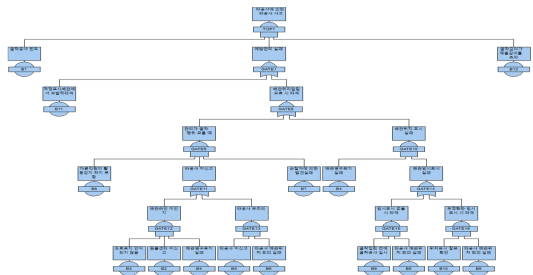


Fig. 5. FT diagram of physical damage of pipe.

**Table 8.** Reliability data of the each cases' basic events, Frequency of top event

No	Event	Industrial estate(Ulsan)		City gas	References
		Case1: Non-patrol	Case2: patrol once/day		
B1	Excavation near the pipeline	1.8086		3.5840	0.4
B2	Third party unaware of one-call	0.1		0.1	0.24
B3	Right-of-way signs not recognized	0.23		0.085	0.19
B4	Failure of permanent markers	0.1	0.05	0.025	1
B5	Third party chooses not to notify	0.1		0.1	0.33
B6	Third party fails to avoid pipeline	0.4		0.4	0.4
B7	ROW patrols fail to detect activity	1	0.3	0.3	0.9
B8	Activity not detected by other employees	1		0.97	0.97
B9	Excavation prior to operator's response	0.02		0.02	0.11
B10	Temporary mark incorrect	0.2		0.01	0.09
B11	Accidental hitting from properly indicated pipe	0.03		0.03	0.03
B12	Excavation depth exceeds buried piping depth	0.07(per 1.5m)		0.086 (per 1m)	0.5
Top event		0.00991	0.00582	0.0119	0.4517
Impact frequency/ an other construction		0.005479	0.003217	0.003320	0.1129

Unit: (/km·year)

(0.00991/km·year → 0.00582/km·year)되었으며, 이는 배관점검원의 순찰이 타격빈도를 1/2로 감소 시킴을 알 수 있다.

FT분석에서 5개의 m-cutset들이 산출되며, 이들의 기초사건은 Table 9와 같다. Table 10에는 4가지 case별 각 cutsets의 비중을 표시해주고 있다.

예를 들어 case 1 (산업단지, 순찰없음)의 경우 두 번째 cutset(타공사 미신고, 배관회피실패, 순찰자에 의한 발견실패, 다른 직원에 의한 발견 실패)은 비중이 63.77%인 반면, case2의 경우에는 비중

이 38.45%로 순찰자가 있는 경우 비중이 50% 감소함을 알 수 있다. 또한 5번째 cutset(적정표시배관에서의 우발적 타격)은 안전관리가 아무리 잘되더라도 피할 수 없는 우발적 사고임을 보여주는데 case 1, 2, 3, 4을 비교하여보면 어쩔 수 없는 우발 사고의 비중이 26.44%, 53.15%, 71.42%, 11.32%로 도시가스의 안전관리가 제일 잘되고, 순찰자가 있는 경우의 비중이 없는 경우에 비하여 배이상 높아 순찰하는 경우 많은 효과가 있음을 알 수 있다.

**Table 9.** Common & Major Cause of minimal cut set[10]

	Basic event of m. Cut set	Common Causes	Major Causes
C1	B1, B12, B2, B3, B4, B7, B8	Excavation near the pipeline, Excavation depth exceeds buried piping depth	Third party unaware of one-call, Right-of-way signs not recognized, Failure of permanent markers, ROW patrols fail to detect activity, Activity not detected by other employees
C2	B1, B12, B5, B6, B7, B8		Third party chooses not to notify, Third party fails to avoid pipeline, ROW patrols fail to detect activity, Excavation prior to operator's response
C3	B1, B12, B4, B6, B9		Failure of permanent markers, Third party fails to avoid pipeline, Excavation prior to operator's response
C4	B1, B12, B4, B6, B10		Failure of permanent markers, Third party fails to avoid pipeline, Temporary mark incorrect
C5	B1, B12, B11		Accidental hitting from properly indicated pipe

**Table 10.** Frequency of minimal cut set for the case study[10]

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

#### IV. 결론

고압가스 배관에서 타 공사 사고빈도가 1000km\*year 당 0.455(도시가스 0.097)로 도시가스 대비 약 5배 높은 것으로 나타났다

배관 타격 시 천공빈도는 산업단지 배관이 약 1/5 값을 나타내고, 굴착빈도는 울산지역의 경우 산업단지 배관이 km\*year당 1.80건으로 도시가스(3.58건) 대비 1/2이다.

인구 밀집도를 비교해보면 울산지역의 경우 산업

단지 지역에 비해 도시가스 지역이 13배이나, 타 공사가 주로 일어나는 낮 시간에 출근 근로자가 상주함을 감안하면 인구밀집도가 약 10배이며, 사고 시 피해면적은 고압가스 지역이 도시가스 지역에 비해 1.69~131.2배 높다.

1일 1회 순찰하게 되면 타 공사 1회당 타격빈도가 Table 8과 같이 비슷하게 나타났으며, 현재보다 타격 빈도를 58%로 낮출 수 있다.

타 공사 Risk는 인구밀집도 \* 피해면적 \* 천공확률 \* 배관타격빈도의 크기에 비례하여 Table 11과 같다.

Table 11. Risk of the other construction

	Popula- tion density rate	Damage area rate	Punctua- tion probabil- ity rate	Impact frequency	Risk rate
City gas pipe	10	1	3~5	0.0119	0.357~0 .595
High pressure gas pipe	1	1.69~13 1.2	1	0.00582	0.009~0 .763

가연성 가스 중 에틸렌 프로필렌의 리스크는 0.009, 0.0168, 독성 가스 중 암모니아 리스크는 0.763

1일 1회 이상 순찰의 경우 Risk가 도시가스에 비하여 독성가스의 경우 조금 높게 나타났으며, 가연성 가스 중 에틸렌, 프로필렌 등은 1/2이하의 수준을 나타냈다.

따라서 고압가스 배관점검원은 독성 가스의 경우 15km/인, 가연성 가스는 30km/인, 조연성 가스를 포함한 불연성 가스는 45km/인으로 제안한다.

산업단지 특수성을 감안해서 전문안전관리 기관 등에서 위탁관리를 통한 효율적인 공동 배관 순찰 수행이 가능하며, 또한 같은 도로상(길이 방향) 또는 횡단하는 경우 배관 바깥 측면의 상호간 거리가 3m미만인 배관에 대하여 합산도 가능하고, 합산 시 점검원 배치 우선순위는 독성, 가연성, 불활성 순으로 해야 하며, 사회안전망과 연계하여 CCTV 등으로 상시 감시가 가능한 경우 및 상시 감시 가능한 전위 측정시스템 등 신기술 적용 시 평가 후에 완화할 수 있다.

## 감사의 글

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

## REFERENCES

- [1] KGS code : 1)KGS FS551, FS111, FP112
- [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] Q.chen., M, A, Nessim, "Reliability based prevention of mechanical damage to pipelines", L51816, 110, (2000)
- [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, Vol. 21, No. 6, pp30~38, (2017)