

상수도 시설물의 지진 취약도

Study on Seismic Fragility Analysis of Water Supply Facilities

Changsoo Lee^{a,1}, Deasub Shin^{b,*}, Hodam Lee^{c,2}

^a Department of Civil Engineering, University of Seoul, 90 Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Republic of Korea

^b Department of Civil Engineering, University of Seoul, 90 Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Republic of Korea

^c Department of Civil Engineering, University of Seoul, 90 Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, The failure of water supply facilities is categorized into two phases: functional failure and complete collapse. The fragility curve of water supply facilities under PGA has been developed for two loading cases: actual overseas earthquake and Korean artificial earthquake. The seismic fragility of water supply facilities has been analyzed and compared about failure phases and PGA. From the analysis results, the probability of failure of the wrapped steel pipe and ductile case iron pipe under Korean artificial earthquake has been shown as lower than that under actual overseas earthquake in the range from 0.1 to 0.4. The suggested seismic fragility curve by using Korean artificial earthquake can be exploited in a reasonable seismic design reflecting Korean local ground condition.

KEYWORDS

Seismic
Fragility Curve,
PGA,
Winkler Foundation
Method,
Water Supply Facility,
Korean
Artificial Earthquake,
Actual Overseas
Earthquake

본 연구에서는 상수도시설물에 대해 손상단계를 기능수행과 붕괴방지로 나누고, 해외실측 지진과 한반도형 인공지진에 대해 각각의 최대지반가속도에 따른 취약도 함수를 도출하였다. 손상단계 및 지반가속도를 이용하여 상수도시설물의 지진파에 따른 취약도 곡선을 도출하여 비교분석하였다. 해석결과, 도복장강관과 덕타일 주철관에 한반도형인공지진을 재하하는 경우, 해외실측지진을 재하하는 경우에 비하여 중앙값이 최소 0.1에서 최대 0.4까지 작아지는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제안된 한반도형 인공지진을 이용한 지진취약도 곡선은 국내실정에 맞는 합리적인 내진 설계에 활용될 수 있을 것이다.

지진 취약도 곡선,
최대지반 가속도,
Winkler Foundation
모델, 상수도 시설물,
한반도형 인공지진,
해외실측지진

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-02-6490-5563. Fax. 82-02-6490-5586.
Email. s9218@hanmail.net

1 Tel. 82-02-6490-5563. Email. csll@uos.ac.kr

2 Tel. 82-02-6490-5563. Email. hodams@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received Feb. 09, 2015

Revised Mar. 06, 2015

Accepted Mar. 19, 2015

1. 서론

현재 중국, 일본 등을 비롯한 세계 각국에서의 지진 등의 자연재해로 인한 구조물의 내진성능평가에 대한 관심이 고조되고 있다. 우리나라에서도 규모 3.0이상의 중급지진의 잦은 발생과 규모 5.0이상 지진의 출현으로 사회 인프라시설의 피해 예측 기술과 대규모 지진재난에 대한 피해저감기술의 개발이 대두되고 있다. 최근 2014년 7월 31일 대만에서는 도심지에서 가스관 폭발 사고가 발생하여 많은 사상자와 경제적인 피해는 물론, 라이프라인의 파괴로 인한 대상지역의 경제활동이 마비되는 등 다양하고 장기적인 피해가 발생하였다. 이러한 네트워크 시설물의 피해로 인해 단순히 1차적인 시설물의 파괴로 인한 인간의 삶에 관련된 2차적인 피해가 발생함이 확인되었다. 인간의 삶과 생활에 밀접한 관련이 있는 라이프라인은 거대도시일수록 밀집되어 있어 지진발생에 따른 피해 위험은 증대되고 도시기반 인프라 네트워크 시설물 파괴에 의한 1차 및 차후 2차 피해까지 고려한다면 중요성은 더욱 크다고 할 수 있다.

지진 취약도는 1980년대 초 원자력발전소의 지진에 대한 손상 가능성을 분석하기 위해 개발되었다. 원자력 발전소에 지진 취약도 분석이 적용된 후, 점차 다른 사회기반 구조물에도 지진 취약도 분석이 확대되었다. 지진 취약도 분석에 지진강도(PGA: Peak Ground Acceleration)가 도입되었고, 최우도 방법에 의한 지진취약도 함수가 개발되어 여러 가지 구조물에 대한 지진 취약도 분석에 대한 연구가 활발해 졌다(Hwang et al., 1994; Shinozuka et al., 2000). 또한, 사회기반시설물의 대표적인 구조물인 교량에 대한 지진 취약도 분석에 대한 연구가 수행되었다(Kim et al., 2004; Song, 2007). 네트워크 시설물의 지진 취약도에 대한 관심이 증대되면서 매설가스관의 내진성능평가에 대한 연구도 수행되었다(Lee et al., 2010).

현재까지 국내에서 수행되었던 주요 네트워크 시설물에 대한 취약도 해석은 국외에서 발생한 강진 기록지진을 이용한 시간이력해석이나 응답변위법을 바탕으로 한 지진해석을 통해 수행되어 왔다. 하지만, 국내에서도 지진의 발생 횟수가 늘어나고 있고 대규모 지진이 발생할 수 있는 가능성이 대두되고 있는 만큼 국내 지진 발생 가능성 및 지반 특성을 고려할 수 있는 지진위험도에 대한 연구가 이루어져 왔다(Park et al., 2012).

본 연구에서는 라이프라인 시설물중 상수도관에 대하여 상용해석프로그램인 ZeusNL을 이용한 비선형 시간이력해석을 수행한 후, 지진강도(PGA)에 대한 상수도관의 지진 취약도 곡선을 작성하였다. 상수도관은 국내에서 가장 많이 사용되는 관에 대하여 모델링을 수행하였다. 선행연구에 의해 제안된 지진위험도를 바탕으로 한방도형 인공지진을 작성하여 도출된 지진 취약도 곡선과 해외에서 실측된 10개의 지진으로부터 도출된 지진 취약도 곡선에 대하여 비교 및 분석을 수행하였다.

2. 지진취약도 해석

지진 취약도 분석은 Shinozuka et al. (2000)의 최우도추정법을 이용하여 수행된다. 최우도추정법은 최대가능성추정법이라고도 불리며, 대수정규분포로 표현되며, 이는 중앙값(C_m)와 대수표준편차(ζ)로 나타낸다.

지진취약도는 임의의 지반운동수준 a 가 구조물의 내진성능 A 보다 커질 확률(즉, 구조물의 조건부 파괴확률, $P_f|a(a)$)로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Kim, 2005).

$$P_{f|a}(a) = P[A \leq a_i] = \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{a}{C_m}\right)}{\zeta} \right] \quad (1)$$

여기서, Φ 는 정규분포함수를 의미하고, a_i 는 i 번째 지진의 지진강도와 관련된 값으로 일반적으로 PGA값을 많이 사용하며, 경우에 따라서는 PGV(Peak Ground Velocity), SA(Spectral Acceleration), SV(Spectral Velocity) 등을 사용할 수도 있다. C_m 와 ζ 는 각각 대수정규분포함수의 중간값과 대수표준편차를 의미한다.

본 연구에서는 상수도 시설물이 지반과 관중의 종류에 따라 N개의 Case가 있는 경우, i 번째 Case에서 $PGA = a_i$ 의

지진에 의한 손상이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우에 대하여, 손상이 존재하는 경우에는 손상발생확률을 증가시키고, 손상이 존재하지 않는 경우에는 손상발생확률을 감소시킬 수 있도록 하는 최우도함수를 이용하여 지진 취약도 함수를 분석하는 방법으로 취약도 곡선을 산출했다. 최우도함수는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$L = \prod_{i=1}^N [P_{f|a}(a_i)]^{x_i} [1 - P_{f|a}(a_i)]^{(1-x_i)} \tag{2}$$

3. 수치해석 모델

본 연구에서는 상수도배관과 지반의 상호작용을 고려한 탄성지반위의 보 모델인 비선형 Winkler Foundation 모델을 사용했다. 비선형 Winkler Foundation 모델로 구현한 상수도관이 각 PGA별로 허용응력과 허용변형률보다 커지는 경우를 파악한다. 그리고 손상의 정도를 확인하여 최우도함수를 나타내는 중앙값(Cm)와 대수표준편차(ζ)을 구하게 된다.

3.1 Winkler Foundation 모델

비선형 스프링은 각 방향별 이선형 탄-소성, 하중-변위의 곡선으로 이루어진다. 이 곡선을 형성하는 초기 탄성계수 및 각 방향별 지반의 스프링 힘과 대응되는 상대변위는 ASCE의 제안식을 이용하여 계산되고, 스프링 계수는 Winkler Foundation을 이용하여 축방향, 횡방향, 수직방향에 대하여 계산된다(American Lifeline Alliance, 2001; ZeusNL Manual ver 1.8.9).

3.2 상수도관 모델링

해석배관으로 선정한 모델은 상수도배관의 대표배관이라 할 수 있는 도·송수관과 배수관을 고려하였다. 이에 따라 배수관의 80%이상 해당하는 덕타일 주철관, 도·송수관의 90% 이상을 차지하고 있는 도복장강관을 대표 구조물로 선정했다. 대표배관의 물성치는 Table 1에 나타내었다.

지반 정수는 매립/퇴적으로 선정하고 매립/퇴적토의 지반정수는 Table 2에 나타냈다. 자연 지반에서 매립 혹은 퇴적토는 재료의 상태가 무른 정도에 따라 단위중량, 내부 마찰각, 점착력의 변화가 있기 때문에 하나의 값이 아닌 범위를 통해 지반정수들을 표시하였다. 전단파 속도는 서울지역 약 400개의 시추주상도(서울특별시 지반정보통합관리시스템)를 분석하여 Sun et al. (2006)이 제안한 식에 의해 산정하였다. N치를 이용한 전단파 속도 추정식은 식 (3)과 같다.

$$V_s = 65.64N^{0.407} \tag{3}$$

Table 1. Properties of the Pipe

Classify	Wrapped steel pipe	Wrapped steel pipe
Internal diameter(mm)	700	700
External diameter (mm)	711.2	738
Weight(kg/m)	122	193
Tensile strength (MPa)	402	480
Yield strength (MPa)	226	270
Chemical composition(%)	T.C	2.8~3.7
	Si	1.7~2.5
	Mn	0.2~0.4
	P	0.1
	S	0.015
	Mg	0.005

Table 2. Properties of Soil (Water corporation Standard Specification, Seoul 2006)

Soil property	Unit weight (KN/m ³)	C (KN/m ²)	φ (°)	Vs(m/sec)
Landfill/Sedimentary Soil	1.5~1.7	0.0~10.0	20~30	230

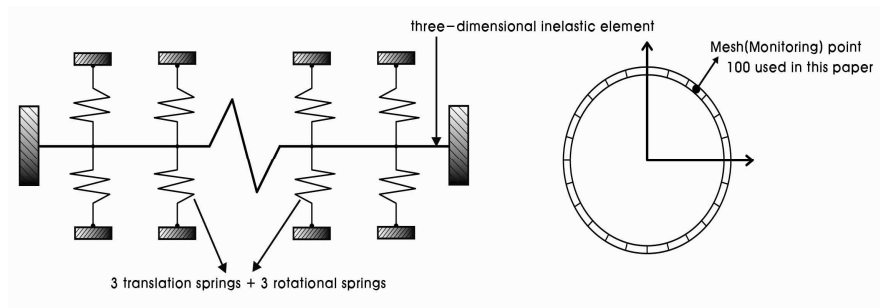


Fig. 1 ZeusNL Model and the Cross Section of the Water Supply Pipe

모델에서는 양 단부를 고정과 힌지로 고려하였다. 실제 매설 상수도관은 지반과 같이 움직이는 형태이지만 모델링 상에서 그러한 부분을 고려해 줄 수 없기 때문에 길이를 충분히 길게 모델링하여 횡방향 변위 및 배관축방향 변형률 등이 양 단부의 지지조건에 크게 영향을 받지 않게 하여 단부의 지지 조건은 고정단과 힌지로 가정하여 지진해석을 수행하였다. 조금 과하게 측정된 부분에 대하여 결과 값들을 조절하였다(Fig. 1).

(1) 도복장강관의 모델링

외경이 711.2mm, 배관 두께가 7.0mm인, 구경 700mm 상수도관을 이용하였다. 지표면에서 매설 상수도 배관의 상부 표면까지의 거리는 1.5m, 그리고 길이는 1km의 상수도관을 고려하였다. 하나의 Pipe Element의 길이는 10m로 일정한 100개의 비탄성 요소를 사용하였고, 각각의 절점에는 Winkler Foundation 모델의 변수 값들을 포함하고 있는 Joint(Spring) 요소를 사용하여 매설배관과 지반의 상호작용을 고려하였다.

(2) 덕타일 주철관의 모델링

덕타일 주철관은 도·송수도관에 설치된다. 외경이 738mm, 배관 두께가 12mm인, 구경 700mm을 모델로 정하여 연구를 수행했다. 지표면에서 매설 상수도 배관의 상부표면까지의 거리는 1.5m, 그리고 길이는 6m분절관을 1km로 모델링한 상수도관을 고려하였다. 하나의 Pipe Element의 길이는 6m로 일정한 167개의 비탄성 요소를 사용하였고, 각각의 절점에는 Winkler Foundation모델의 변수 값들을 포함하고 있는 Joint(Spring)요소를 사용하여 매설배관과 지반의 상호작용을 고려하였다.

3.3 지반 모델링

상수도배관 요소의 절점에는 Winkler Foundation 모델의 변수 값들을 포함한 Joint 요소로 모델링 하였다. 대칭적인 움직임을 가정할 수 있는 배관 축방향 및 횡방향은 이 두 방향에서 구조물과 지반의 상호작용을 3선형 대칭 탄-소성 곡선을 사용하여 모델링을 하였고, 비대칭적인 움직임을 가정할 수 있는 수직방향(Uplift, Bearing)은 3선형 비대칭 탄-소성 곡선을 사용하여 모델링 하였다. 또한 회전에 대해서는 모두 구속으로 가정하여 각 방향별 모멘트 하중에 대응되는 하중-변위 관계식은 선형탄성곡선으로 모델링을 수행하였다.

지반의 변동성을 고려한 지반의 해석 Case는 Table 3에 정리하였다. 매립/퇴적토 지반의 해석 Case는 점착력, 단위중량, 내부마찰각, 정지토압계수를 고려하여 해석 Case를 나누었다. 그리고 평균과 표준편차를 이용하여 Case를 고려하는

기법인 RSM(Response Surface Method)을 이용하여 해석 Case를 늘려 변동성을 고려하였다.

Table 3. Case of Landfill / Sedimentary Soil

Landfill/ Sedimentary Soil	C	Unite weight		$\phi(^{\circ})$	K0
	(KN/m ²)	(KN/m ³)	(KN/m ³)		
	X1	X2	X3	X4	
Mean	5	1.6	25	0.375	
Standard Deviation	5	0.1	5	0.125	
C.O.V	1	0.0625	0.2	0.3333	
Case 1	5	1.6	25	0.375	
Case 2	0	1.6	25	0.375	
Case 3	10	1.6	25	0.375	
Case 4	5	1.5	25	0.375	
Case 5	5	1.7	25	0.375	
Case 6	5	1.6	20	0.375	
Case 7	5	1.6	30	0.375	
Case 8	5	1.6	25	0.25	
Case 9	5	1.6	25	0.5	

4. 입력지반운동

지진 취약도 함수를 작성하기 위하여 수행하는 지진해석에서 가장 중요한 사항은 입력지반운동 작성이다. 입력지반운동의 크기 및 특징에 따라 시설물의 지진 취약도가 결정된다. 다양한 실제 기록지진의 특징을 반영할 수 있는 입력지반운동을 고려하고, 동시에 한반도 실정에 맞는 입력지반운동을 고려하여 제안하고자 한다. 한반도 지역은 지진 취약도 함수를 결정할 만한 강진기록이 없어 다양한 진동수 대역의 해외 실측지진운동을 고려하였다. 국내 설계입력스펙트럼이 미국 서부지역의 입력스펙트럼을 참고하였기 때문에 한반도 지반 특성을 반영할 수 있는 설계입력스펙트럼을 조사, 선정하여 한반도형 인공지진을 작성하였다. 인공지진을 작성할 때에는 내진설계 기준이 가장 까다로운 원자력 분야 입력지반운동 작성 규정을 만족시키는 형태로 작성되었다.

최종적으로 취약도 곡선 작성을 위한 입력지진파는 총 14개의 지진을 사용하였다. 실제 기록지진인 해외실측지진 10개(Table 4)를 사용하였으며, 한반도형 인공지진(Park et al., 2012)은 한반도의 지질특성을 고려한 등재해응답스펙트럼(UHRS, Uniform Hazard Response Spectrum)을 포괄하는 방법으로 작성된 4개의 인공지진을 사용하였다.

해외실측지진과 진동수 영역에서 비교 해봤을 때 해외 실측지진은 10Hz이하의 진동수에서 상대적으로 높은 가속도를 갖는 반면에 한반도형 인공지진은 낮은 영주기가속도에 비해 10Hz 전후의 응답이 상대적으로 큰 양상을 보인다(Fig. 2). 이는 중약진 지역인 한반도 지역의 특징을 반영한다고 볼 수 있다.

상수도 시간이력 해석시 해외실측지진은 각 축 방향별 Seed에 따른 지진파를 지진가속도에 맞춰 Scale Down하여 재하하였고 한반도형 인공지진의 경우 수직을 수평에 100%로 사용하여 재하였다.

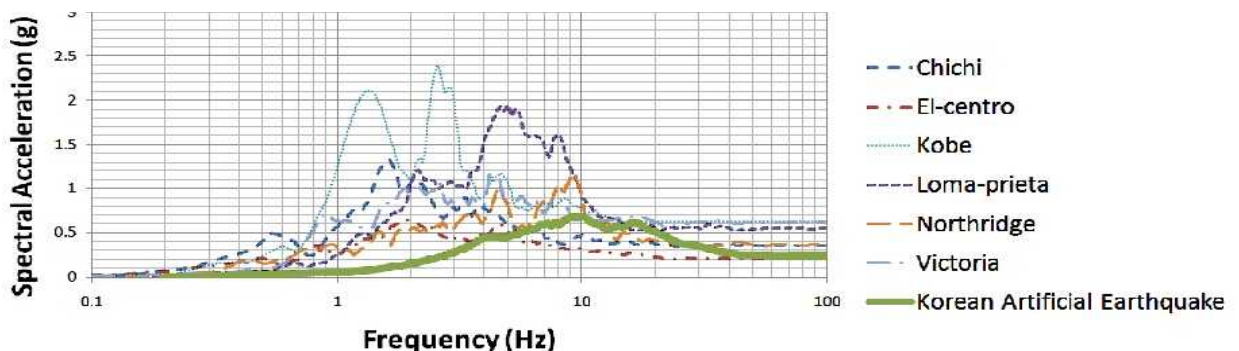


Fig. 2 Comparison Actual Earthquake and Korean Artificial Earthquake

Table 4. PGA of Actual Earthquake

Earthquake	Input(Component)	PGA(g)
Kobe EQ (JMA Kobe station)	Kobew (Axial)	0.632
	Kobns (Horizontal Transverse)	0.829
	Kobud (Vertical)	0.341
Northridge EQ (City hall ground station in Santa Monica)	s_monica360a1 (Axial)	0.370
	s_monica90a1 (Transverse)	0.883
	s_monicaupa1 (Vertical)	0.232
	Chichi E (Axial)	0.364
ChiChi (CHY006 Central Weather Bureau)	Chichi N (Transverse)	0.344
	Chichi V (Vertical)	0.184
	Elcentro_EW (Axial)	0.214
El-Centro (Imperial Valley Irrigation distict)	Elcentro_NS (Transverse)	0.349
	Elcentro_UP (Vertical)	0.210
	Victoria_X	0.621
Victoria, Mexico (6604 Cerro Prieto)	Victoria_Z	0.587
	Victoria_Y	0.263
	Loma prieta_X	0.555
Loma_prieta (47381 Gilroy Array #3)	Loma prieta_Z	0.360
	Loma prieta_Y	0.271
	Round Val/MCG360	0.128
Bishop (Rnd Val) (McGee Creek)	Round Val/MCG270	0.088
	Round Val/MCG-UP	0.106
	Gazli/GAZ000	0.608
Gazli, USSR (9201 Karakyr)	Gazli/GAZ090	0.718
	Gazli/GAZ-UP	1.264
	PTMUGU/PHN180	0.112
Point Mugu (272 Port Hueneme)	PTMUGU/PHN270	0.083
	PTMUGU/PHN_UP	0.047
	SPITAK/GUK000	0.199
Spitak, Armenia (12 Gukasian)	SPITAK/GUK090	0.175
	SPITAK/GUK-UP	0.119

가. 5. 손상단계 정의

구조물의 한계상태를 정의하는 방법은 여러 가지로 강관과 연성관의 재질에 따른 매설 상수도배관 한계상태를 정의함에 있어 차이가 있을 수 있다. 강관의 변형에 의한 한계상태는 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 분류하였으며, 연성관의 경우 허용응력에 의한 파괴상태만을 기능수행수준으로 정의하였다. 관체 발생 변형률과 응력이 허용치 이하가 되도록 하며 지진에 의한 응답과 상시 작용하는 하중에 의한 응답을 합산하여 내진성능 검토를 수행하였다.

본 연구에서 시간이력해석시에 상재하중을 고려하지 않고 지진하중만 고려하기 때문에 한계상태를 상재하중에 의한 변형률과 허용응력을 뺀 것으로 정의했다. 상재하중은 상수도 내진설계기준을 참고해서 구했으며, 배관의 최종 허용변형률과 허용응력은 Table 5와 같다.

Table 5 Limit State of the Pipe

Classify		Wrapped Steel Pipe	Ductile Cast Iron Pipe
Limit state	Performance of Function	0.002264(%)	270(MPa)
	Collapse Prevent	0.004528(%)	-
Overburden Load		0.00033(%)	18.3(MPa)
Final Limit State	Performance of Function	0.001934(%)	251.7(MPa)
	Collapse Prevent	0.004198(%)	-

6. 지진취약도 곡선

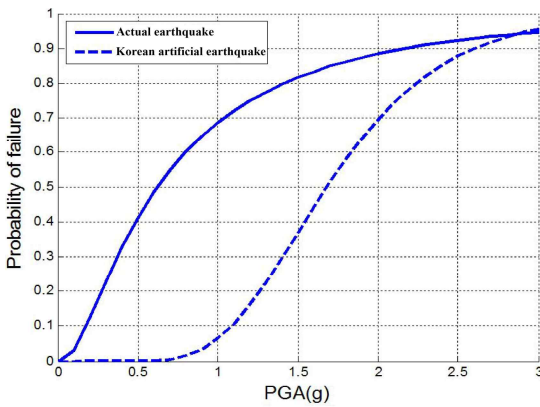


Fig. 3 Seismic Fragility Curves of Wrapped Steel Pipe(700mm)(Functional Performance Level)

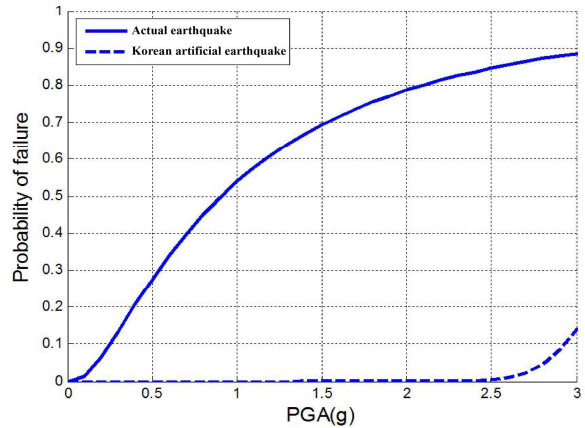


Fig. 4 Seismic Fragility Curves of Wrapped Steel Pipe(700mm)(Collapse Prevent Level)

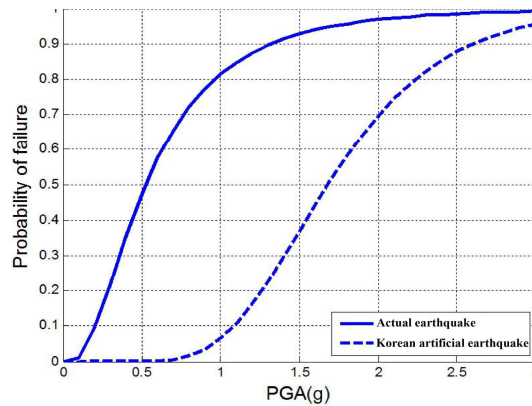


Fig. 5 Seismic Fragility Curves of Ductile Cast Iron Pipe(700mm)(Functional Performance Level)

앞서 정의한 확률변수와 입력지진파를 이용하여 지진취약도 평가를 위해 시간이력해석을 수행하였다. 지진 취약도 곡선의 함수는 최우도함수 추정식을 사용했다. 함수는 이변수 대수정규분포 함수로 나타나며, 이때의 관경크기별, 지반 Case별, 중앙값과 로그표준편차 값은 Table 6에 정리하였다. 취약도 곡선 작성은 해외실측지진 10개와 한반도형 인공지진 4개를 재하여 상수도관에 대하여 손상단계 및 입력지진에 따른 PGA관계를 정량적으로 평가했다.

Table 6 Case of mean and standard deviation

Case		Cm	ζ
Actual Earthquake	Wrapped steel pipe 700mm Performance of function	1.220	0.977
	Wrapped steel pipe 700mm Collapse prevent	1.488	0.864
Korean Artificial Earthquake	Ductile cast iron pipe 700mm Performance of function	1.064	1.020
	Wrapped steel pipe 700mm Performance of function	1.335	0.783
Korean Artificial Earthquake	Wrapped steel pipe 700mm Collapse prevent	1.610	0.592
	Ductile cast iron pipe 700mm Performance of function	1.472	0.733

Fig. 3와 4은 도복장강관에 대한 지진 취약도 곡선을 손상수준별로 한반도형 인공지진과 해외실측지진을 PGA별로 재하하여 얻은 것을 보여준다. Fig. 5은 덕타일 주철관에 대한 지진취약도 곡선을 관 크기별로 한반도형 인공지진과 해외실측지진을 PGA별로 재하하여 얻은 것을 보여준다.

Fig 3와 4을 보면 도복장강관의 경우 해외실측지진을 재하한 경우 기능수행수준 0.6g에서 50%확률로 파괴 가능성을 보이고, 붕괴방지수준 0.83g에서 50%확률의 파괴 가능성을 보였다. 이는 붕괴방지수준의 한계상태가 더 크다는 것을 반영하는 결과이다. 그리고 한반도형 인공지진을 재하한 결과 기능수행수준 1.66g에서 50%의 파괴확률을 보이고 붕괴방지 2.5g까지 파괴될 가능성이 없다는 것을 확인 할 수 있었다.

덕타일 주철관의 경우 연성관이기 때문에 상수도 내진설계기준상에 나와 있는 붕괴방지 수준에 해당하는 한계상태에 도달하지 않기 때문에 환경에 따른 손상상태를 기능수행수준만으로 지진취약도 곡선을 Fig. 5에 나타냈다.

덕타일 주철관의 경우 해외실측지진을 재하한 경우 기능수행수준 0.5g에서 50%확률로 파괴 가능성을 보이고, 한반도형 인공지진을 재하한 경우 기능수행수준 1.67g에서 50%의 파괴확률을 보임을 알 수 있다.

결론적으로 취약도 곡선을 보면 도복장강관과 덕타일 주철관의 지진취약도 곡선이 비슷한 경향을 나타내고, 한반도형 인공지진 보다는 해외실측지진에 더 취약함을 나타내는 것을 알 수 있다. 이를 통해 지진 취약도가 관의 재질보다 지반의 특성에 의해 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 상수도 시설물 내진 해석 시에는 해외실측지진을 적용하는 것보다는 국내 지반 특징을 고려한 한반도형 인공지진을 적용하는 것이 더 합리적이라고 사료된다.

7. 결론

본 연구에서는 상수도 내진성능에 기초한 손상수준에 따라 지진하중의 특성을 반영하기 위해 한반도형 인공지진과 해외실측지진을 재하하여 지진해석을 수행하였다. 지진취약도를 분석하는 방법은 최우도함수를 이용하여 해석하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 한반도형 인공지진은 해외실측지진보다 고진동수 영역에 대한 지진가속도가 크기 때문에 고진동수 영역에 해당하는 시설물의 지진취약도에 더 큰 영향을 끼칠 수 있다. 상수도시설물의 경우 고유진동수 대역이 낮아 해외실측지진에 영향을 더 크게 받았다.

2) 내진설계기준에 제시되어있는 최대지반 가속도 0.154g가 재하되었을 때, 도복장강관의 경우 해외실측지진에서 0.078의 파괴확률을 보이고, 한국형 인공지진에서는 거의 0에 가까운 값으로 안전측에 해당하는 결과값을 보였다. 덕타일 주철관의 경우 해외실측지진은 0.116으로 도복장강관에 비해 다소 크게 나타났지만, 안전측에 해당하였고 한반도형 인공지진은 0으로 안전측으로 나타났다.

일반적인 부재의 설계기준인 0.001의 파괴확률에 해당하는 최대지반 가속도는 해외실측지진과 한반도형인공지진에서 모두 내진설계기준에서 제시된 1000년 재현주기 최대지반가속도에 비해 값이 적기 때문에 기존 내진설계기준은 보다 보수적인 결과를 제시한 것으로 판단된다.

3) 도복장강관과 덕타일 주철관에서 한반도형인공지진을 재하 했을 때 보다 해외실측지진을 재하했을 때, 지진취약도 함수의 중앙값이 최소 0.1에서 최대 0.4까지 작아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 해외실측지진에 더 취약성을 나타낸다는 것을 확인하였다.

4) 지진취약도 곡선에서 해외실측지진을 사용할 경우, 한반도형인공지진을 사용할 경우 보다 보수적으로 설계되는 것으로 나타났다. 지진은 지반 특성에 따라 달라지는 경향이 있으므로 국내 실정에 맞는 설계를 위해서는 국내 지반 특성을 반영한 지진을 사용할 필요성이 있다. 본 연구에서 제시된 지진 취약도 곡선은 향후 국내 실정에 맞는 합리적인 내진 설계에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업단(자연피해예측및저감연구개발사업)의 지원으로 수행한 '도시기반 인프라 네트워크의 지진취약도 함수 개발' [NEMA-자연-2012-68]과제의 성과입니다.

References

- American Lifelines Alliance (2001), Guideline for the design of buried steel pipe, ASCE.
- Hwang H, and Huo J-R. (1994), Generation of hazard-consistent fragility curves for Seismic loss Estimation studies, Technical Report NCEER-97-0015.
- Kennedy, R.P. and Ravindra, M.k. (1984), Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies, Nuclear Engineering and Design, 79(1), 47-68.
- Kim, S. H. and Shinozuka, M. (2004), Development of Bridges Retrofitted by Column Jacketing, Probabilistic Engineering Mechanics, 19(1), 105-112.
- Kim, D. K. (2005), Dynamics of structure, Goomibook, Seoul, 579.
- Kwak, D. Y., Jeong, C. G., Lee, H. W., and Park, D. H., (2009), Development of New Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Seismic Coefficients of Korea Part II: Derivation of Probabilistic Site Coefficients, Korean Geo-Environmental Society, 10(7), 111-115
- Lee, D. H., Jeon, J. M, Oh, J. G., and Lee, D. H. (2010), Earthquake Fragility Analysis of a Buried Gas Pipeline, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 14(5), 65-76.
- Mashaly, A., Datta, T. K. (1989), Seismic risk analysis of buried Pipelines, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 115(3), 232-252.
- Ministry of Environment (2007), Water corporation Standard Specification, Seoul.(in Korean)
- Ministry of Environment (2010), Waterworks Standards, Korea Water and Wastewater Works Association, Seoul.
- Park, D. H., Kwak, D. Y., Jeong, C. G. (2009), Development of New Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Seismic Coefficients of Korea Part I: Application and Verification of a Novel Probabilistic Seismic Hazard Analysis Procedure, Korean Geo-Environmental Society, 10(7), 103-109
- Shinozuka, M., Takada, S., and Ishikawa, H. (1979), Some aspects of seismic risk analysis of underground lifeline systems, Journal of Pressure Vessel Technology, ASME, 101, 31-43.
- Shinzuka, M., Feng M.Q., Lee, J.H., Naganuma, T. (2000), Statistical analysis of fragilit curve, Jurnal of Engineering Mechanics, ASCS, 126(12), 1224-1231.
- Seoul (2006), Soil Survey Manual, Seoul.
- Song, J. G. (2007), Development of Seismic Fragility Functions for Bridge Structures in Korea, National Disaster Management Institute, Seoul.