

기초형식 및 뒤채움재 종류별 강성관용 하수관거의 안전율

이관호*, 김성겸
국립공주대학교 건설환경공학부

Safety Factor of Rigid Sewer Pipe by Different Types of Foundation and Backfill

Kwan-Ho Lee*, Seong-Kyum Kim

Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

요약 도심지 도로하부에서 발생하는 지반침하 및 싱크홀의 주요 원인은 하수관로 기초 및 관로뒤채움재의 부적절한 다짐 등이다. 이로 인해 하수관거의 이음부 파손 및 접합 불량, 관의 파손 및 균열 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 하수관거 기초와 관련된 받침계수 및 굴착 깊이에 따른 안전율을 평가하였다. 강성관용 기초로는 쇄석기초, 버림 콘크리트 기초, 그리고 최근 새로 개발된 현장조립식 경량플라스틱 기초를 이용하였고, 뒤채움재는 현장발생토사(사질토 및 점성토), 현장발생토사를 재활용한 유동성뒤채움 등을 적용하였다. 굴착 깊이 및 하수관 기초별 안전율을 평가하기 위하여 하중계수 및 받침계수 등을 고려한 설계하중을 평가하였다. 받침계수는 쇄석기초 0.377, 버림 콘크리트 기초(180° 및 120°) 0.243 및 0.220, 경량 플라스틱 기초와 유동성 뒤채움재는 0.231로 적용하였다. 전체적으로 쇄석기초 사용 시 안전율이 작게 나왔고, 받침각 180° 버림 콘크리트 기초 사용 시 안전율이 가장 크게 나타났다. 또한, 경량 플라스틱 기초와 유동성 뒤채움재의 조합을 이용할 경우 받침각 120° 버림 콘크리트 기초보다 안전율이 크게 나타났다. 이는 새로 개발된 재활용 경량 플라스틱 기초가 강성관의 또 다른 대안 기초로 활용이 가능함을 의미한다.

Abstract The main causes of subsidence and sinkholes in the lower part of urban roads are sewage line foundation and inadequate compaction of backfill material. This leads to many problems, such as the breakage of joints in sewer pipes, poor connection, pipe breakage, and cracks. To solve this problem, the support factor related to the sewer foundation and the safety factor according to the excavation depth were evaluated. For the foundation of rigidity tolerance, crushed stone foundation, and abandoned concrete foundation, a recently newly developed site assembly-type lightweight plastic foundation were used. Backfill materials were applied on site (sandy soil and clayey soil) and fluid backfill was recycled onsite. To evaluate the depth of excavation and the safety factor of each sewer pipe foundation, the design load considering the load factor and the support factor was evaluated. The support coefficients were 0.377 for a crushed stone foundation, 0.243 and 0.220 for an abandoned concrete foundation (180° and 120°), and 0.231 for a lightweight plastic foundation and fluid backfill. Overall, the safety factor was low when using the crushed stone foundation, and the safety rate was the highest when the foreclosed concrete foundation (180°) was used. In addition, when the combination of lightweight plastic and fluid backfill materials was used, the safety factor was higher than that of abandoned concrete foundation (120°), which means that the newly developed lightweight plastic foundation can be used as another alternative base of a steel pipe.

Keywords : Backfill Materials, Bedding Factor, Design Load, Foundation, Rigid Pipe

본 논문은 국토교통과학기술진흥원 2018년도 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9313 email: kholee@kongju.ac.kr

Received January 11, 2019

Revised February 12, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

1. 서론

우리나라의 하수도는 1970년대 중반 하수처리장 건설을 시작으로 지난 40년간 급속도로 증가하였다. 하수도 시설 증가는 국민소득증가와 상당히 밀접한 관련이 있고, 일반적으로 상수도과 하수도 보급률은 약 30년 정도의 격차를 보이고 있다. 2014년 기준으로 약 76.5% 정도의 보급률을 보이며, 이는 전 세계적으로 유례를 찾기 힘들다[1]. 하수처리시설에 투자된 총 예산은 불변가격 기준으로 약 36조원으로 이는 선진국에 비하면 아주 저비용으로 하수처리 시설을 구축한 것으로 평가된다. 그러나, 이러한 하수도 시설투자는 1966년 제정된 하수도법이 추구하는 국민의 보건위생이나 물환경 보전의 목표에 따라 조직적으로 계획 되었다기 보다는, 각종 수질 관련 사고나 국민들의 요구에 의해 이루어진 것이다[2].

하수도정책은 근본적으로 국가가 정한 환경규제를 효율적으로 달성한데 목적이 있다. 기술적 측면에서 보면 하수처리 기술은 생물학적 처리를 근간으로 하며, 운전과 운영이 복잡하고 기술주기가 짧으며 기술 혁신도 빠르다. 하수관망 운영에 대한 다양한 문제점으로 하수관망체계(합류식과 분류식), 연계처리수와 처리된 산업폐수 형태로 하수관에 유입되는 연계수량에 대한 기술적 문제와 비용정산 제도의 보완이 시급하다. 최근 도시침수, 싱크홀 및 지반침하 등이 노후 된 하수관로 시설로 인해 발생하고 있는 대표적인 도시문제중 하나가 되고 있다. Table 1은 국내에서 사용된 연도별 하수도 예산이다. 하수관거, BTL사업 및 침수 등에 대한 예산이 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다[1].

Table 1. Budget for Sewer System (unit : billion won)

item	year					
	11	12	13	14	15	16
Sewer Treatment Plant	0.80	0.72	0.64	0.50	0.47	0.41
Sewer Pipe	0.66	0.65	0.86	0.74	0.96	0.82
BTL	0.05	0.21	0.25	0.35	0.36	0.36
Flooding	-	-	-	0.18	0.24	0.20
Rural Area	0.39	0.25	0.34	0.34	0.36	0.40
Sum	1.90	1.83	2.09	2.11	2.39	2.19

최근 기후변화로 인한 집중호우 추세는 하수도 시설에 대한 새로운 대응을 요구하고 있다. 특히, 수질보전, 기후변화, 안전, 고도처리 및 물재이용등 새로운 조건이

하수관망 구축에 요구되면서 오수와 우수(stormwater)의 분리는 시설 투자 시 중요 고려사항이 되고 있다. 하수의 분류는 도시침수(Urban flooding) 방지와 하수처리장에서 영양소 제거를 위해 필수적이다. 우리나라의 경우 강우사상이 봄부터 늦가을까지 비교적 꾸준하고, 여름철 태풍 및 홍수 등 집중호우가 많은 편이다[1].



Fig. 1. Subsidence and sink hole in road

Fig. 1은 최근 도심지에 많이 발생하는 도로함몰 또는 싱크홀을 보여주고 있다. 이러한 도심지 도로에서 발생하는 싱크홀의 주요 원인은 하수관로 기초 및 관로 뒤채움재의 부적절한 다짐 등이다. 우리나라 하수도관 파손의 주요 유형은 이음부 불량 38%, 연결관 돌출 및 접합 불량 30%, 관내 퇴적 12%, 관의 파손 및 균열 10%, 기타 10% 등이다. 이중 이음부 불량, 접합 불량 및 기타 등 약 70% 정도가 하수관 기초 및 뒤채움재의 품질관리 및 다짐도와 매우 큰 상관관계가 있는 파손 유형이다 [3][4]. 기초 및 뒤채움재 부실다짐은 연결부의 함몰 및 누수 등을 유발하고, 이로 인해 하수관 하부지층의 함수비증가, 지반강도 감소 및 유실로 인해 하수관의 하단의 지지력 상실로 이어지고, 하수관로의 파손이 발생하게 된다[5-7]. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존에 사용하고 있는 강성관의 안정성 중심의 설계에 기초의 지지력 및 침하량을 고려한 안전율을 추가로 고려하는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 하수관로용 기초로 많이 사용하고 있는 버림 콘크리트 기초, 쇠석 기초와 최근 새로 개발된 현장 조립식 경량 플라스틱 기초 등을 이용하여 하수관로 기초의 안정성을 평가하고자 한다. 이를 위해 강관관의 직경 및 굴착 깊이별 하중계수와 설계하중을 결정하고, 안전율을 평가하였다. 특히, 새로 개발된 조립식 경

량 플라스틱 기초의 하수관 기초 설계 시 사용되는 베딩 계수(bedding factor)를 제시하고자 한다.

2. 강성관용 하수관거 설계

Table 2는 국내에서 사용하는 강성관 종류별 지반특성에 따른 기초형식을 보여주고 있고, 실제 현장에서는 관체의 보강과 부등침하 등의 방지를 위해 다양한 조합을 이용하여 시공하기도 한다[2].

Table 2. Foundation of pipe for soil type

soil item	hard	regular	soft
Concrete Pipe	plantation tree foundation,	concrete foundation	pile foundation, concrete
Steel Pipe	crushed stone, sand	crushed stone, concrete	reinforced concrete

현장조립식 경량플라스틱 기초는 버려지는 고밀도 폴리에틸렌관(High Density Poly Ethylene, HDPE)을 재활용하여 하수관용 플라스틱 기초로 개발된 것이다. 플라스틱 기초는 주로 관의 연결부 하단에 설치하는 것으로, 나머지 관 주변 및 관 상부는 기존의 공법을 그대로 준용한다.

일반적으로 매설된 강성관의 외압강도는 철근콘크리트관의 경우 균일하중을 적용하고, 도관의 경우 파괴하중을 적용한다. 매설관에 등분포하중이 작용하는 경우 관체에 발생하는 휨모멘트는 $M_{max} = kqR^2$ 와 같다. 여기서 k 는 관의 받침조건에 따라 변하는 계수, q 는 매설관에 작용하는 등분포하중(kN/m^2), R 은 관두께 중심반경(m)을 의미한다. 하수관을 매설한 경우 수직토압 이외에 교통하중이 활하중으로 작용하게 된다. 또한, 하수관의 자중 및 관내의 물의 중량, 수직토압에 의해 발생하는 휨모멘트가 발생할 수 있으나, 관의 자중, 관내수의 중량에 의해 발생하는 휨모멘트와 측벽에서 발생하는 수동토압이 서로 상쇄되는 것으로 해석한다. 따라서 휨모멘트 계산은 수직토압과 교통하중만을 고려대상으로 한다. 이때 발생하는 휨모멘트는 관거의 기초형식, 지반조건 및 시공품질에 의해 크게 영향을 받는다. Fig. 2는 관의 받침형태이고, Table 3은 관의 받침각에 따른 받침계수(k)값을 나타내고 있다.

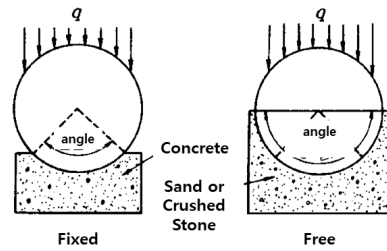


Fig. 2. Contact type of foundation

Table 3. Bedding factor (k)

Contact angle	fixed	free
30	-	0.470
60	-	0.377
90	0.303	0.314
120	0.243	0.275
180	0.220	-

관 받침계수는 Fig. 3과 같이 삼 지점 압축시험(three-edge bearing test, TEB)을 이용하여 주어질 하중 조건에 따른 최대모멘트를 이용하여 결정한다[8][9].

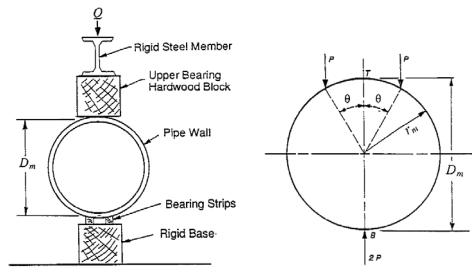


Fig. 3. Three-edge bearing test

하수관 상단부의 토피고를 고려한 연직토압은 흙의 내부마찰각을 이용하여 주동토압(K_a)과 수동토압(K_p)을 결정한다[10][11]. 이를 이용하여 매설토의 연직토압 결정용 하중계수(C_d)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$K_a = \frac{1 - \sin\psi}{1 + \sin\psi} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{1 - \exp[-2K_a\mu \times \frac{H}{B_d}]}{2K_a\mu} \quad (2)$$

매설된 하수관의 안전율은 상재하중에 의해 관에서

발생하는 최대모멘트(M_{max})와 관의 강성에 의해 저항할 수 있는 저항휨모멘트(M_r)를 이용하여 결정한다. 국내의 경우 콘크리트 고정받침, 접촉각 120도를 기준으로 받침계수(k)는 0.243을 이용하여 안전율을 결정할 수 있다.

$$M_r = 0.318QR + 0.239WR \tag{3}$$

$$FS = \frac{M_r}{M_{max}} \tag{4}$$

3. 굴착깊이별 기초의 안전성 평가

3.1 베딩재 및 뒤채움재

본 연구에서는 하수관 기초로 쇠석기초(60°), 콘크리트기초(120°), 콘크리트기초(180°), 유동성뒤채움재 및 조립식플라스틱기초 (180°) 등 총 4가지 기초 형식을 이용하였다. 관 주변 뒤채움재는 현장발생토사(사질토 및 점성토)와 유동성 뒤채움재(모래 및 현장발생토 재활용) 등 총 4가지 재료이고, 재료별 내부마찰각 및 단위중량은 Table 4와 같다.

Table 4. Material properties of backfill

materials		property	internal friction angle	unit weight
recycled insitu soil	granular soil		30	1.80
	clayed soil		28	1.60
controlled low strength materials	sand		33	1.83
	insitu soil		30	1.56

3.2 강성관 및 굴착깊이

해석에 사용된 강성관은 Table 5와 같이 콘크리트 호프관이고, 직경 300mm, 400mm, 500mm, 및 600mm를 이용하였다. 강성관의 굴착 후 시공이 완료된 상태에서 하수관에 흐르는 유량은 관 단면적의 50% 수준으로 적용하였다. 또한 굴착 깊이는 국내 하수관거 시공 시 보편적으로 시공하는 최대 깊이 5m로 설정하였다.

Table 5. Parameter of design analysis

item	diameter			
	300	400	500	600
Excavation Width, B _d	982	1236	1490	1644
Pipe Thickness, t	30	35	42	50
Pipe Diameter, D _c	360	470	584	700
Pipe Weight (kg)	211	323	495	700
Water Weight in Pipe (kg)	88.4	157.1	245.4	353.4
Pipe Cross Section (m ²)	0.90	1.18	1.46	1.75

3.3 설계하중 및 안전율

Fig. 4는 본 연구에 사용된 단면으로 4가지 기초중 쇠석기초 및 버림 콘크리트 기초를 이용한 해석 단면이다.



Fig. 4. Cross Section

해석에 사용된 강성관용 쇠석기초의 시공 시 받침각은 60°이고, 받침계수는 0.377을 적용하였다. 버림 콘크리트 기초는 120° 및 180°를 적용하였고, 받침계수는 0.243 및 0.220을 적용하였다. 유동성 뒤채움재의 관 전체를 커버할 수 있도록 매설관의 상부까지 뒤채움재를 타설하고, 위에 현장발생토사를 채우는 것으로 적용하였다. 관 전체를 덮을 수 있도록 타설하므로 기초와 관의 접촉각은 180°를 적용하였다. 받침계수는 0.220을 이용할 수 있으나, 버림 콘크리트 강도에 비해 유동성 뒤채움재의 강도가 작으므로 버림 콘크리트 기초 120°와 180°의 중간정도 값을 유동성 뒤채움재의 받침계수로 적용하는 것이 타당하여, 받침계수를 0.231을 적용하였다. 이는 관 상단까지 타설하는 유동성 뒤채움재는 교통하중 및 상재하중을 일부 분담하게 되고, 이는 콘크리트 하수관에서 발생하는 모멘트를 저감시켜주기 때문이다.

Table 6~9는 강성관의 관경 및 굴착 깊이에 따른 설계하중을 나타내고 있다. Case A는 사질토, Case B는 점성토, Case C는 모래질 유동성뒤채움재, Case D는 현

장발생토 유동성뒤채움재이다. 또한, C_d 는 하중계수, W_d 는 상재하중, W_r 은 교통하중, q 는 설계하중을 의미한다.

Table 6. Design parameter of concrete pipe (Case A)

diameter		300	400	500	600
depth item					
2m	C_d	1.798	1.579	1.402	1.312
	W_d	7708	8211	8529	8105
	W_r	1520	1520	1520	1520
	q	9288	9731	10049	9625
5m	C_d	2.235	2.053	1.886	1.794
	W_d	9582	10679	11474	11085
	W_r	787	787	787	787
	q	10370	11466	12261	11872

Table 7. Design parameter of concrete pipe (Case B)

diameter		300	400	500	600
depth item					
2m	C_d	1.411	1.204	1.048	0.971
	W_d	6807	7046	7173	6751
	W_r	2410	2410	2410	2410
	q	9217	9457	9583	9161
5m	C_d	2.232	2.050	1.884	1.792
	W_d	10761	11997	12892	12455
	W_r	787	787	787	787
	q	11549	12784	13679	13242

Table 8. Design parameter of concrete pipe (Case C)

diameter		300	400	500	600
depth item					
2m	C_d	1.414	1.206	1.049	0.972
	W_d	6932	7174	7301	6871
	W_r	2410	2410	2410	2410
	q	9343	9584	9712	9281
5m	C_d	2.240	2.056	1.889	1.796
	W_d	10980	12234	13142	12695
	W_r	787	787	787	787
	q	11767	13021	13929	13482

Table 9. Design parameter of concrete pipe (Case D)

diameter		300	400	500	600
depth item					
2m	C_d	1.411	1.204	1.048	0.971
	W_d	5899	6107	6216	5851
	W_r	2410	2410	2410	2410
	q	8309	8517	8627	8261
5m	C_d	2.232	2.050	1.884	1.792
	W_d	9326	10397	11173	10974
	W_r	787	787	787	787
	q	10114	11184	11960	11582

Table 10~13은 강성관 기초종류 및 굴착깊이에 따른 안전율을 나타내고 있다. 1은 쇄석기초(60°), 2는 버림 콘크리트 기초(120°), 3은 버림 콘크리트 기초(180°), 4는 조립식 경량 플라스틱 기초를 의미한다. 강성관 기초의 파손유무는 안전율 1.1을 기준으로 설정하였다[2].

전체적으로 보면 뒤채움재 조건이 사질토 및 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재를 이용한 것이 점성토 및 모래를 이용한 유동성 뒤채움재를 시공한 조건에 비해 안전율이 크게 나타났다. 쇄석기초(받침각 60°) 기초는 깊이 2m 시공구간에서 파괴되는 것으로 나타났다. 이는 도로 포장 하부에 시공되는 하수관의 평균 설치 깊이가 2m 내외임을 고려하면 현장에서 사용하기에 부적절한 것으로 나타났다.

현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재와 현장조립식 경량플라스틱 기초의 조합을 이용하면 깊이 5m 시공시 하수관의 안전율이 1.1보다 크게 나타났다. 현장에서의 시공과정을 고려하면 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재와 현장조립식 경량플라스틱 기초 조합은 하수관의 안전율을 증가시킬 수 있는 대안 공법으로 사용할 수 있을 것이다.

Table 10. Safety factor of case A

diameter		300	400	500	600
depth item					
2m	1	1.12	1.02	0.97	0.99
	2	1.75	1.59	1.51	1.54
	3	1.93	1.75	1.67	1.70
	4	1.84	1.67	1.59	1.62
5m	1	0.92	0.78	0.70	0.70
	2	1.42	1.20	1.08	1.09
	3	1.57	1.33	1.20	1.20
	4	1.50	1.26	1.14	1.15

Table 11. Safety factor of case B

depth \ diameter item		300	400	500	600
		2m	1	1.03	0.94
2	1.60		1.46	1.39	1.41
3	1.77		1.61	1.53	1.56
4	1.69		1.53	1.46	1.48
5m	1	0.82	0.70	0.63	0.63
	2	1.28	1.08	0.97	0.98
	3	1.41	1.19	1.07	1.08
	4	1.35	1.13	1.02	1.03

Table 12. Safety factor of case C

depth \ diameter item		300	400	500	600
		2m	1	1.02	1.00
2	1.66		1.55	1.50	1.50
3	1.84		1.71	1.65	1.66
4	1.75		1.63	1.57	1.58
5m	1	0.81	0.68	0.61	0.62
	2	1.26	1.06	0.95	0.96
	3	1.39	1.17	1.05	1.06
	4	1.32	1.11	1.00	1.01

Table 13. Safety factor of case D

depth \ diameter item		300	400	500	600
		2m	1	1.15	1.04
2	1.78		1.62	1.54	1.56
3	1.96		1.79	1.70	1.73
4	1.87		1.70	1.62	1.65
5m	1	0.94	0.79	0.72	0.72
	2	1.46	1.23	1.11	1.12
	3	1.61	1.36	1.23	1.23
	4	1.54	1.30	1.17	1.17

4. 결론

4가지 다른 기초 형식(받침각 60° 쉐석기초, 받침각 120° 및 180° 버림 콘크리트 기초, 받침각 120° 현장조립식 플라스틱기초)과 4종의 뒤펀재(사질토, 점성토, 모래 및 현장발생토사)를 이용하여 강성관의 시공시 설

계하중 및 안전율을 결정하였고, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 강성관을 이용한 하수도 시설 설계 시 받침각도에 따른 받침계수가 안전율에 매우 큰 영향을 준다. 쉐석기초는 0.377, 버림 콘크리트 기초는 0.243 및 0.220을 적용하였다. 유동성 뒤펀재를 이용한 현장조립식 플라스틱 기초의 경우 관의 상부까지 뒤펀재를 타설하면 유동성 뒤펀재에 사용된 약 2-3%의 시멘트에 의해 강도가 발현된다. 이러한 유동성 뒤펀재는 기존의 흙 또는 현장발생토사를 뒤펀재로 사용한 것에 비해 상대적으로 강도가 크게 나타났다. 이러한 특징을 감안하여 버림 콘크리트 120° 및 180° 중간정도에 해당하는 받침계수 0.231을 적용하는 것이 타당한 것으로 나타났다.
- (2) 전체적으로 쉐석기초 이용 시, 모든 뒤펀재 조건에서 안전율이 1.1 이하로 하수관의 안전성이 매우 나쁜 것으로 나타났다. 이에반해 받침각 120° 및 180° 버림 콘크리트 기초를 이용할 경우 사질토 일부조건(굴착 깊이 2m, 관경 500mm와 600mm) 및 점성토지반을 제외한 나머지 조건에서 충분히 안전한 것으로 나타났다.
- (3) 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤펀재와 현장조립식 경량플라스틱 기초의 조합을 이용하면 깊이 5m 시공 시 하수관의 안전율이 1.1보다 크게 나타났다. 일반적으로 하수관 시공시 버림 콘크리트 기초를 사용하지만, 관전체(받침각 180°)를 버림 콘크리트로 타설하여 사용하지 않는다. 이러한 현장에서의 시공관행을 고려하면 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤펀재와 현장조립식 경량플라스틱 기초 조합은 하수관의 안전율을 증가시킬 수 있는 대안 공법으로 사용할 수 있을 것이다.

References

- [1] Environmental Subcommittee, "National Financial Operation Plan", Environmental Sector Report, pp. 182, 2016.
- [2] Ministry of Environment, "Sewerage Facility Standard", Korea Waterworks Association, pp. 1109, 2011.
- [3] Lee, D. H., "A Research on Recycled Plastic Foundation for Sewer Pipeline", Master Thesis, Kongju National

University, pp. 86, 2014.

- [4] Kang, S.Y., J.S. Park, K.H. Lee, "Study on Basement Modeling of Sewage Pipeline Based on Comparison of Finite Element Analysis Results with Experimental Data", The Korea Academia Industrial Cooperation Society: Cheonan, Korea, pp. 593 - 596, 2013.
- [5] Rahman, M.A., M. Imteaz, A. Arulrajah, M.M. Disfani, "Suitability of recycled construction and demolition aggregates as alternative pipe backfilling materials", J. Clean. Prod. 66, 75 - 84, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.005>
- [6] Arulrajah, A., J. Piratheepan, M.M. Disfani, M.W. Bo, "Geotechnical and geo-environmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement sub-base applications", J. Mater. Civil Eng., pp. 1077 - 1088, 2013.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000652](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000652)
- [7] Petersen, D.L., G. Le, C.R. Nelson, T.J. McGrath, "Analysis of live loads on culverts", In Proceeding of the 2008 Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, USA, 13 - 17, pp. 3 - 5, 2008.
- [8] American Concrete Pipe Association, "Design Data 9 : Standard Installations and Bedding Factors for the Indirect Design Method", ACPA, pp. 13, 2013.
- [9] American Concrete Pipe Association, "Lateral Concrete Pipe and Bedding Factors", ACPA, Conference Paper, Virginia, pp. 15, 1991.
- [10] Kehr, J.A. and D.G. Enos, "FBE, a Foundation for Pipeline Corrosion Coatings", <https://www.researchgate.net/.../254544412>, pp. 17, 2015.
- [11] CEPA Foundation, "A Practical Guide for Pipeline Construction Inspectors", The INGAA Foundation Inc., pp. 131, 2016.

김 성 겸(Seong-Kyum Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 국립공주대학교 건설 환경공학부 (공학석사)
- 2012년 2월 : 국립공주대학교 건설 환경공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 국립공주대학교 건설 환경공학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 방재연구센터 전임연구원

<관심분야>

도로공학 및 지반공학

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[중신회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

도로공학 및 지반공학