

하수관거 직경과 심도를 고려한 하수관거 플라스틱 받침기초의 안전성 평가를 위한 해석연구

박래진¹, 박종섭^{2*}

¹상명대학교 시설공학과, ²상명대학교 건설시스템공학과

A Numerical Study on Safety Evaluation of Prefabricated Sewage-Pipe Plastic Foundation Based on Pipe Diameters and Buried Soil Depths

Rae-Jin Park¹ and Jong-Sup Park^{2*}

¹Department of Infrastructure Engineering, Sangmyung University

²Department of Civil Engineering, Sangmyung University

요약 하수관거 시설은 현장 시공시 다짐 불량 및 뒤채움재의 품질관리 미흡으로 인해 하수관거의 이격 및 부등침하가 발생되고, 이음부나 관의 손상이 심화되는 경우 누수가 발생된다. 노후화로 인해 유지 및 보수, 신설 비용은 매년 증가하고, 누수로 인한 인접 매립시설물 및 지하수로의 유입으로 인해 오염사례가 보고된 바 있으며, 최근에는 싱크홀의 문제를 야기하여 사회적 관심이 증대되었다. 따라서 많은 연구자들에 의해 하수관거의 기초에 대한 채움재관련 연구가 오랫동안 연구되어 왔으며, 신재생재료에 대한 관심 수요가 증가하여 재생재료를 활용한 연구들도 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 하수관거를 지지하는 기초의 안전성과 경제성을 동시에 지닌 재활용재료를 활용한 조립식 하수관거 기초에 대해 연구를 진행하였으며, 사후처방방식이 아닌, 시공단계에서 사전예방하기 위해 관경 600mm, 700mm, 800mm의 대형 하수관거를 선정하여 적절한 설계 하중을 산출하고 매립 심도별 안전성에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구결과는 신형식 하수관거 기초의 유사연구에 널리 활용 될 수 있을 것이다.

Abstract Improper backfill materials and compaction controls under pipelines have become one of the major causes of failure in many sewage pipeline systems. A study on backfill materials and compaction controls has been considered for a long time. However, structural supporters under the pipe were recently concerned because of pipeline repair and maintenance. This paper presents a prefabricated plastic foundation for supporting a sewage pipe system and increasing the performance function of the pipes. Several analytical models for the plastic foundations were investigated using finite-element program, ABAQUS, for checking safety. Comparing with the results of analyses, some of economic design sections based on the sizes of pipe diameters, 600mm, 700 and 600mm, were evaluated. These results could be applied to a pipeline system with a prefabricated plastic foundation with respect to pipe diameters and buried depths.

Key Words : Sewage-pipe foundation, Prefabricated foundation, Renewable material, Buried depth

1. Introduction

환경부 조사에 따르면 1997년부터 2013년까지 하수관거 개·보수 및 운영 유지비 등의 사업비가 가파르게 증

가하고 있으며, 하수관거 신설로 인한 시설비도 증가하고 있다[1]. 또한, 상하수도 및 지하 매설관의 노후로 인한 누수로 지하암석이 용해되거나 지하공동이 붕괴되면서 발생하는 싱크홀(sinkhole)로 인한 사고사례가 다수

*Corresponding Author : Jong-Sup Park(Sangmyung Univ.)

Tel: +82-41-550-5314 email: jonpark@smu.ac.kr

Received March 9, 2015

Revised April 13, 2015

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

보고되고 있다[2]. 이러한 지하매설 상하수 관거는 설계 초기단계부터 유지 및 보수 비용의 최소화를 고려하여야 한다. 따라서 기존의 사후처방 관리 방식을 지양하고, 건설 초기 단계에 하수관거의 주요 손상 원인을 분석하고, 뒤통재의 품질 및 다짐 불량으로 인한 지반 지지력 저하를 방지할 수 있는 시공이 이루어져야 한다[3]. 뒤통재 불량은 하수관거의 부등침하와 관거 이음부 불량을 야기하며, 결국 관거의 손상 및 파괴를 유발하게 된다. 이러한 뒤통재에 대해 친환경적인 재활용 및 재생재료를 활용한 다양한 연구가 진행되나 있다[4,5,6]. 최근에는 폴리에틸렌(Polyethylene)과 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 이용한 조립식 경량 관거바닥기초형식에 대한 연구 [7]가 진행된 바 있으며, 개발된 조립식 하수관거 기초의 유한요소해석을 통한 안정성 확보 및 경제성을 분석한 연구가 최근 수행되었다[8,9].

본 연구에서는 재활용재를 사용하여 제작된 관거바닥 기초(Fig.1)의 시공성을 극대화하기 위하여 하수관거 직경 및 매설 심도를 고려하여 관거의 안전성을 검토하였다. 또한 해석결과분석을 통하여 설계에 적용할 수 있는 기초의 적용 심도를 제안하였다.

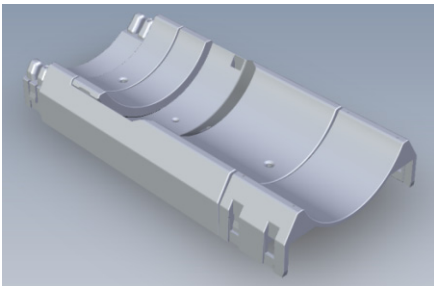


Fig. 1. Sewage Pipe Renewable-New Plastic(RNP) Foundation

2. Load Conditions

하수관거용 기초 설치 시 작용가능한 최대 상재하중은 도로 표장면과 이동하는 차량에 의한 윤택하중이 작용하는 구간이다. 따라서 차량하중, 도로 포장면, 매설구간 흙, 강성관과 관수로로 구성된 상재하중을 고려하여야 한다[9,10].

관의 자중 및 관수위 상재하중은 RNP기초 상부에 직접 작용하며, 자중계산은 원심 철근 콘크리트관을 기준으로 만수위를 가정하여 계산하였다. 차량 윤택하중은 대

부분 하수관거의 설비가 도로 아래에 매설되므로, 국내의 하수관 설계기준에 따라 차량하중 DB-24를 적용하여 산정하였다. 흙하중은 매설 심도에 따라 변동이 가장 크고, 일정 심도 이상에서는 관의 충분한 강성이 확보되어야 시공이 가능하므로, 본 연구에서는 최소 흙두께 1m에서 10m까지의 매설 심도를 고려하였다. 수평토압에 의한 수직하중은 Maston공식을 활용하여 계산하였으며, 심도 대비 도랑의 폭에 따른 비율로 토질의 상태를 판별하고, 수직하중을 산출하였다. 도로 포장면을 고려한 연직응력 증가량을 Newmark 영향도표로 추가적으로 고려하여, 매립 심도 아래에서의 RNP 기초의 충분한 안정성을 검토하였다.

Table 1은 하중조건을 나타내고 있으며, 각 조건에 따른 하중 계산을 수행하고 유한요소해석모델 단면에 작용할 외부하중을 Table 2와 같이 RNP(Renewable-New Plastic) 기초의 본체와 이음부에 작용하는 하중으로 구분지어 정의하였다.

Table 1. Loading conditions of RNP Foundation

Loading Case	Conditions
Pipe Self-Weight	Filled with Water
Wheel Load	DB-24
Vertical Load of Soil	1m ~ 10m
Vertical Load of Lateral Earth Pressure	Maston's Equation
Vertical stress increment by road pavement	Concrete Road Pavement

Table 2. Applied Load of Analytical Models

Buried Depth (m)	Analytical Models					
	Dia-600mm		Dia-700mm		Dia-800mm	
	Body (MPa)	Connections (MPa)	Body (MPa)	Connections (MPa)	Body (MPa)	Connections (MPa)
1	0.0827	0.0867	0.0871	0.0949	0.0916	0.0983
2	0.0824	0.0864	0.0888	0.0966	0.0956	0.1022
3	0.0954	0.0993	0.1032	0.111	0.1118	0.1184
4	0.1115	0.1154	0.1204	0.1282	0.1302	0.1368
5	0.1286	0.1326	0.1384	0.1462	0.1491	0.1557
6	0.1461	0.15	0.1564	0.1642	0.1678	0.1744
7	0.1639	0.1679	0.1748	0.1825	0.1867	0.1933
8	0.1819	0.1858	0.193	0.2008	0.2053	0.2119
9	0.1997	0.2037	0.2111	0.2189	0.2237	0.2303
10	0.2175	0.2215	0.2291	0.2369	0.2419	0.2485

3. Finite Element Analysis

3.1 FEM Modeling

하수관거 RNP기초의 모델링은 3차원 구조거동 특성을 파악하기 위해 Auto CAD Mechanical과 범용구조해

석 프로그램 ABAQUS가 사용되었다. 기존의 설계 단면의 복잡한 구조를 CAD로 단순화하여 구현하였으며, ABAQUS의 S4R Shell Element를 사용하여 해석모델 메쉬(Mesh)를 작성하였다(Fig.2).

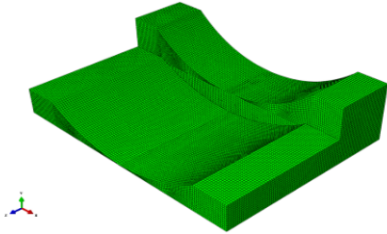


Fig. 2. ABAQUS 3D Shell Element Modeling

3.2 Material Properties

RNP기초는 플라스틱 신재료 50%와 재사용재료 50%를 혼합하여 사용하였으며, 재료실험을 통하여 탄성계수(E)는 522MPa, 항복응력(σ_y)은 20.17MPa, 포아송비(ν)는 0.42를 얻었다. 본 연구에서는 Table 3의 재료물성값을 유한요소해석에 적용하였다.

Table 3. Material Properties of RNP

Elastic Modulus (E, MPa)	Yield Stress (σ_y , MPa)	Possion's Ratio	Density (kg/mm ³)	Gravity (m/s ²)
522	20.17	0.42	0.94(10 ⁻⁶)	9.81

3.3 Boundary and Applied Load Conditions

RNP기초 해석 모델의 경계조건은 모델의 길이방향의 연속적인 설치를 가정하여, 길이 방향(Z방향)을 구속하였으며, 양옆의 배우기 토양의 느슨함을 가정하여, 자유단의 경계조건으로 구현하였다. 또한 하부의 충분한 다짐을 고려하고, 이물질 혼합, 부등침하, 시공초기 오차에 대한 부수적인 변형 및 변동 사항들은 없음을 가정하여, 횡방향(X), 수직방향(Y), 길이방향(Z)의 경계조건을 구속하였다(Fig.3). 하중재하는 수직방향(Y)으로 하수관거와 RNP기초가 맞닿는 부분에 등분포 하중으로 작용시켰으며, 앞서 계산된 Table 2의 값을 재하하였다.

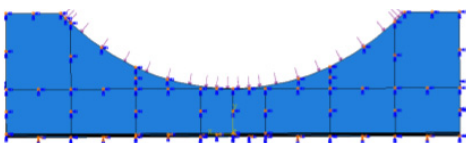


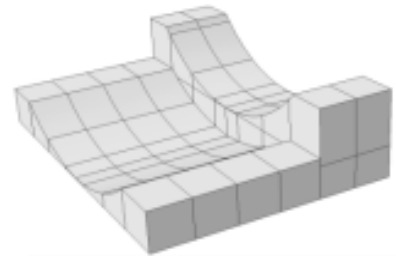
Fig. 3. Boundary Conditions of RNP Foundation

Table 4. Boundary Conditions of RNP Foundation

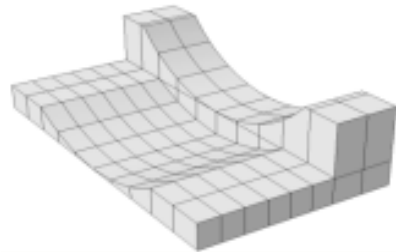
Direction \ Location	X-Axial (Transverse)	Y-Axial (Longitudinal)	Z-Axial (Length)
Up-Down Side (Length)	Free	Free	Fixed
Left-Right Side (Transverse)	Free	Free	Free
Bottom	Fixed	Fixed	Fixed

3.4 Parameters

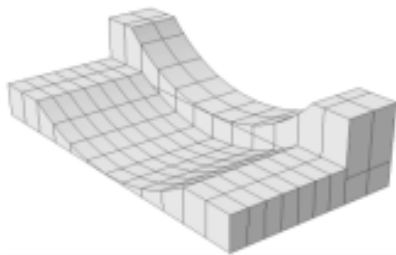
관경 600mm, 700mm, 800mm 하수관거의 RNP기초를 대상으로 매설 심도 1m부터 10m까지의 변수로 유한요소해석을 수행하여, 각각의 모델별 위치에 따른 응력과 변위의 분포, 최대 변위 및 최대 응력을 비교 분석하였으며, 모델은 다음 Fig.4와 같다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. 3D View of RNP Foundation (a)6MR5N5 (b)7MR5N5 (c)8MR5N5

4. Fitnite Element Analysis Result

하수관거 관경별 RNP기초의 완성된 3D 모델에 매설 심도별 하중을 재하하고, 실험으로 얻어진 RNP재료(재생재료50%+신재료50%) 물성치와 경계조건을 입력하여 범용유한요소해석 프로그램 ABAQUS를 이용한 해석수행 및 결과를 도출하였다.

4.1 Dia-600mm RNP Foundation[6MR5N5]

Fig. 5와 Fig. 6은 모델 6MR5N5의 응력 및 변위 분포를 나타내고 있다. Fig. 5의 응력분포는 전체적으로 고르게 분포하는 것을 보여주고 있으며, 이음부 상판 좌우에서 최대응력이 발생되었다. Fig. 6의 변위분포도 유사한 양상을 보이며, 이음부 상판 좌우에서 최대변위가 발생하였다.

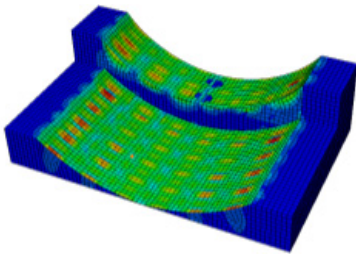


Fig. 5. Stress Distribution of Model 6MR5N5

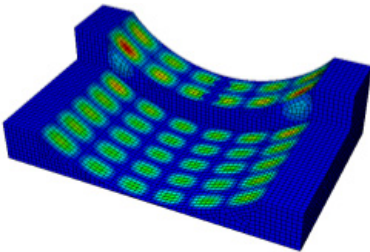


Fig. 6. Displacement Distribution of Model 6MR5N5

Table 5는 모델 6MR5N5의 매설 심도에 따른 최대응력과 최대변위, RNP 재료의 인장항복강도(20.17MPa)를 비교하고 있다. 분석된 결과를 토대로, 탄성영역 내에서 안전한 설계를 수행하기 위해, 항복응력의 70% 미만을 안전측의 설계로 가정하여, 매설 심도를 분석하였다. 6MR5N5 모델은 매설 심도가 1m~7m까지는 안전측의 설계이며, 매설 심도가 8m~10m까지는 재료자체는 항복하지 않지만 장기간 상재하중으로 인하여 성능의 저하를 추정할 수 있다.

Table 5. Comparisons of Analytical Results(6MR5N5)

Buried Depth (m)	Maximum Displacement (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Yield Stress (σ_y , MPa)	Comparison (%)
1m	2.10	6.73	20.17	33%
2m	2.09	6.70	20.17	33%
3m	2.42	7.76	20.17	38%
4m	2.83	9.10	20.17	45%
5m	3.26	10.46	20.17	52%
6m	3.70	11.88	20.17	59%
7m	4.16	13.33	20.17	66%
8m	4.61	14.79	20.17	73%
9m	5.06	16.24	20.17	81%
10m	5.51	17.69	20.17	88%

4.2 Dia-700mm RNP Foundation[7MR5N5]

Fig. 7과 Fig. 8은 모델 7MR5N5의 응력 및 변위 분포를 나타내고 있다. 6MR5N5의 모델과 유사하게 고른 분포를 나타내며 최대응력 및 최대변위의 발생위치도 이음부 상판 좌우에서 나타나고 있다.

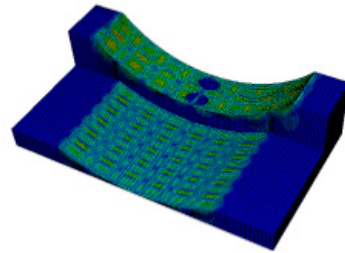


Fig. 7. Stress Distribution of Model 7MR5N5

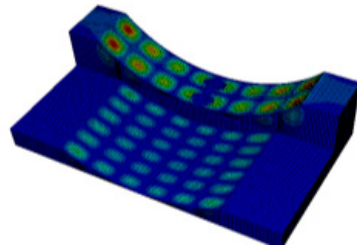


Fig. 8. Displacement Distribution of Model 7MR5N5

Table 6은 7MR5N5모델의 매설 심도에 따른 분석 결과를 나타낸다. 6MR5N5 모델과 비교하여 최대응력과 최대변위가 더 크게 발생되는 것을 확인 할 수 있으며, 안전측의 사용이 가능한 매설 심도는 1m ~4m까지로 사용이 제한적임을 알 수 있다. 매설 심도 5m~7m까지는 항복 응력의 70%를 초과하는 상태이며 8m 이후로 단면이 항복하는 상태에 이르게 된다.

Table 6. Comparisons of Analytical Results(7MR5N5)

Buried Depth (m)	Maximum Displacement (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Yield Stress (σ_y , MPa)	Comparison (%)
1m	2.98	9.82	20.17	49%
2m	3.03	10.02	20.17	50%
3m	3.53	11.64	20.17	58%
4m	4.11	13.58	20.17	67%
5m	4.73	15.61	20.17	77%
6m	5.34	17.64	20.17	87%
7m	5.97	19.71	20.17	98%
8m	6.59	21.77	20.17	108%
9m	7.21	23.81	20.17	118%
10m	7.82	25.84	20.17	128%

4.3 Dia-800mm RNP Foundation[8MR5N5]

Fig. 9과 Fig. 10은 모델 8MR5N5의 응력 및 변위 분포를 나타내며, 최대응력 및 최대변위는 이음부 상판 좌우와 중앙에서 발생하였다.

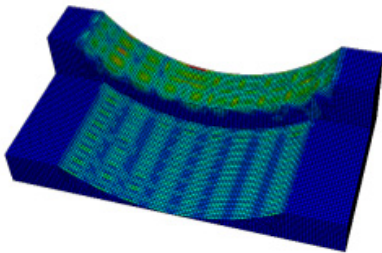


Fig. 9. Stress Distribution of Model 8MR5N5

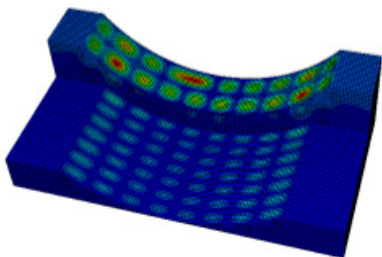


Fig. 10. Displacement Distribution of Model 8MR5N5

Table 7은 7MR5N5모델의 매설 심도에 따른 분석 결과를 나타내며, 매설 심도가 1m~3m까지는 안전측의 사용이 가능하고, 4~6m까지는 항복응력의 70%초과, 7m 이후로는 항복상태를 나타내고 있다.

Table 7. Comparisons of Analytical Results(8MR5N5)

Buried Depth (m)	Maximum Displacement (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Yield Stress (σ_y , MPa)	Comparison (%)
1m	2.87	10.93	20.17	54%
2m	3.00	11.41	20.17	57%
3m	3.50	13.35	20.17	66%
4m	4.08	15.54	20.17	77%
5m	4.67	17.80	20.17	88%
6m	5.26	20.03	20.17	99%
7m	5.85	22.28	20.17	110%
8m	6.43	24.50	20.17	121%
9m	7.01	26.70	20.17	132%
10m	7.58	28.87	20.17	143%

Fig. 11에서 모든 환경의 해석결과를 재료의 항복강도 및 70% 항복강도와 비교하고 있다. 환경 600mm 하수관거 기초 6MR5N5은 최대응력이 가장 작게 발생하며, 안전측의 설계가 가능한 구간은 심도 1m~7m임을 확인 할 수 있으며, 모델 7MR5N5과 8MR5N5은 경향이 유사하게 나타나고 매설 심도가 5m 이상이면, 항복응력의 70%를 초과하는 것으로 나타났다.

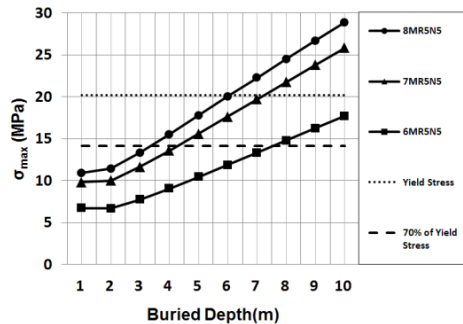


Fig. 11. Maximum Stresses of All Model

5. Conclusions

유한요소해석을 통해 환경 600mm, 700mm, 800mm 하수관거 RNP기초의 매설 심도에 따른 응력 및 변위의 최대값의 발생분포를 분석하였다. 해석결과는 항복응력과 비교하여 안전성 검토에 사용되었으며, 본 분석결과 는 정리하면 다음과 같다.

- 1) 재생재료 50%와 신재료 50%의 합성을 통해 얻어진 RNP는 재생재료의 사용으로 일반 PE재료에 비해 비균질성을 지니며, 불확실성을 고려할 때 탄성영역내의 설계를 권장한다. 따라서 본 연구에서는

탄성 설계를 위해 항복응력의 70%를 초과하지 않는 경우에만 안전측의 설계라고 판단하였다.

- 2) 관경 600mm 하수관거 기초 6MR5N5은 최대응력이 가장 작게 발생하며, 안전측의 설계가 가능한 구간은 심도 1m~7m임을 확인 할 수 있었다. 관경 700mm과 800mm 하수관거 기초의 경우 유사한 경향을 보이며, 매설 심도 5m 이상이면 항복응력의 70%를 초과하였다.
- 3) 관경 600mm인 하수관거의 자중과 수위하중 값은 매설 심도에 따른 흙의 상재하중 값 보다 작은 값을 나타내고 있으며, 관경 700mm, 800mm의 경우 관경이 대형화되면서 흙의 상재하중값이 자중과 수위하중을 초과하게 되며, RNP기초에 발생하는 최대 응력과 변위가 관경 600mm를 위한 6MR5N5 하수관거기초에 비해 약 40%이상 큰 값을 나타내었다.
- 4) 관경별 RNP기초의 모델은 매설 심도가 깊어 짐에 따라 최대 응력과 변위가 증가하는 경향을 나타내며, 항복응력의 70%를 초과하는 경우에는 단면의 내부 격벽 수 또는 격벽 두께를 증가시키므로서 하수관거 기초의 충분한 지지력을 확보 할 수 있을 것이다.

References

- [1] Ministry of Environment, "Statistics of sewage", 2014.
- [2] I.J. Park, S.H. Park, "Cause Analysis and Solution of sinkhole", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 14, No.5, pp. 12-17, 2014.
- [3] K. Ahn, K.M. Kim, S.H. Yoon, and D.H. Min "A Study on preventive maintenance system for sewage", 2005 Autumn Conference of the Korean Structure Monitoring & Maintenance Control Society, Vol.9, No.2, pp. 181-185, 2005.
- [4] K.H. Lee, C.S. Song, "Performance evaluation of underground pipe with In-situ recycled controlled low strength materials", Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol.8, No.2, pp. 1-12, 2006.
- [5] H.D. Moon, D.M. Kim "Engineering characteristics of crushed rock for foundation and backfill materials of conduit", Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol.7, No.6, pp. 67-73, 2006.
- [6] K. Lee, S. Kim, "Backfill materials for underground facility with recycling materials - quantification of

design parameters", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No.3, pp. 91-96, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2011.11.3.097>

- [7] D.H. Lee, Lee, K.H. Lee, "Laboratory loading test of lightweight prefabricated plastic foundation for sewage pipe line", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.13, No.6, pp. 2757-2762, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.6.2757>
- [8] S.Y. Kang, J.S. Park, K.H. Lee, "A study on basement modeling of sewage pipe line based on comparison of finite element analysis results with experimental data", The Korea Academia- Industrial Cooperation Society, Spring conference-2012, No.2, pp. 593-596, 2012.
- [9] S.Y. Kang, J.S. Park, K.H. Lee, "A Numerical Study on Economic Design of Prefabricated Sewage-Pipe Plastic Foundation", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 13, No. 5(Oct. 2013), pp. 067-074, 2013.
- [10] Korea Water and Wastewater Works Association "Sewer Facility Standards", 2010.

박 래 진(Rae-Jin Park)

[준회원]



- 1998년 2월 : 고려대학교 토목공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 상명대학교 시설공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 상명대학교 시설공학과 (공학박사)

<관심분야>

시공실무, 구조해석, 안전성평가

박 종 섭(Jong-Sup Park)

[종신회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수