

비굴착 하수관로용 폴리우레탄 보수재 특성 평가

박준하¹, 전상열¹, 이관호^{1*}
¹국립공주대학교 건설환경공학부

Characterization of Repairing Polyurethane for Trenchless Sewer Pipeline

Jun-Ha Park¹, Sang-Ryeol Jeon¹, Kwan-Ho Lee^{1*}
¹Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

요약 국내의 하수관거 보수공사는 주로 전면굴착과 같은 개착식 공법이 사용되고 있다. 이러한 공법은 도로의 굴착에 따른 시간과 비용의 증가, 교통통제로 인한 민원발생 및 교통지체 등 많은 문제점을 발생시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 비굴착공법에 사용 가능한 하수관거 보수재에 대한 실험을 시행하였다. 사용한 재료는 수지계열의 폴리우레탄수지로 액상형과 경화물드로 제작한 시편, 그리고 폴리우레탄 수지 CIPP 등이다. 국가표준시험 방법을 적용하여 기본 물성 평가를 시행하였다. 폴리우레탄 수지는 인체에 무해하고, 현장 시공시 악취 등 대기오염물질 발생이 없는 것으로 나타났다. 폴리우레탄 수지의 점도, 가사시간, 겔화시간 등 측정항목 모두 표준 규격을 만족하는 것으로 나타났다.

Abstract There is commonly used the full depth excavation method of sewer pipeline maintenance in Korea. This induces couple of technical and social problems like increase of construction cost and time for excavation and backfill, increase of public complains and delay of traffic, and so force. In order to overcome these problems, lots of laboratory tests were carried out for sewer pipeline of maintenance materials with trenchless methods. The testing materials are liquid and hardened polyurethane, and polyurethane CIPP. The lab tests were followed by Korean Standard. There are no side effects, like harmless to the human body and air pollution with stink. Judging from the limited test results, all the items tested were satisfied the KS criteria.

Key Words : CIPP, excavation, polyurethane, sewer pipeline, trenchless

1. 서론

우리나라에서 사회 간접자본의 대표적인 구조물(infrastructure)인 하수관거의 설계 수명이 지정되어 있으나, 하수관거가 사용되는 조건에 따라 설계 수명을 채우지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 하수관거를 개선(renovation)하기 위하여 전면 굴착에 의한 하수관거 교체, 파쇄공법, 연속관 삽입 공법 등 다양한 기술의 발전과 시행이 이루어 졌다. 하지만 이러한 공법은 모두 땅을 파서 시공하는 개착 공법으로 개착 및 굴착에 따른

많은 시간과 비용 및 시공 시 교통 통제 및 불편에 따른 민원 발생 등의 수많은 단점이 발생한 바 있다. 이러한 문제점을 인지한 후 하수관거 선진국인 영국에서 하수관거의 갱생에 대한 기술 개발이 이루어 졌고, 1980년대 후반 국내에 기술이 도입되기 시작하였으며, 국내에 적용되기 시작한 하수관거 갱생(rehabilitation) 공법은 상기의 여러 문제들을 개선할 수 있도록 하여 발전기를 맞이하게 되었다[1,2].

다양한 개선 공법 중 특히 비 굴착(trenchless) 공법은 많은 사회적 비용을 절감할 수 있도록 하여 주었다. 비굴

본 논문은 환경부 2014년 “하수관거연구단” 연구과제로 수행되었음.

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

Tel: +8241-521-9313, emial: kholee@kongju.ac.kr

Received February 13, 2015

Revised (1st April 3, 2015, 2nd April 17, 2015)

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

착 공법은 가스관, 수도관과 같은 압력관 갱생과 저압 및 중력의 하수관거의 갱생에 적용되었다. 초기의 단순한 갱생에서 상당한 기간의 현장 적용 연구 및 시행에 따라 현재는 연속관 삽입, 변형관 삽입에 의한 close fit 공법, 현장 경화관(cured in place pipe, CIPP), discrete 관 삽입에 의한 추진공법, 나선 회전 제관 공법 등이 사용되고 있다. 하수관거의 상태에 따라 부분 보수, 전체보수 등의 보수 량이, 그리고 공법이 선택되어 시행하도록 되어 있다. 그러나 우리나라에서는 현재 CIPP(ISO 21196-4)와 PE 변형관 삽입(ISO 21196-2) 및 PVC 제관 공법(ISO 21196-7) 등의 관련 시공법 등이 이용되고 있고, 이중 CIPP 공법이 가장 널리 많이 사용되고 있는 실정이다 [3,4].

더불어 현재 사용되는 CIPP 공법에서 사용되는 원자재는 1980년 말경 비굴착 공법이 국내 도입될 때 적용되었던 원자재를 그대로 사용하는 경우가 대부분으로 알려져 있다. 즉, 국내에서는 CIPP 갱생에 적용하기 위한 보수 자재인 carrier와 reinforcement에 관한 연구가 극히 제한적인 상태이다. Carrier 수지로는 불포화 폴리에스테르, 에폭시 등과 같은 열경화성 수지만 사용이 되고 있으며, reinforcement로는 유리섬유 혹은 PE, PET felt 만 사용되고 있는 실정이다[5].

본 연구에서는 하수관거 보수 자재중 수지계열의 폴리우레탄수지와 현장경화 CIPP의 물성평가를 평가하였다. 평가된 수지는 향후 현장시험시공을 통해 현장 적용성을 평가 후 실무에 사용할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

2. 수지의 종류 및 특징

2.1 수지의 종류

비 굴착 보수에 사용할 수 있는 고분자 수지는 크게 열가소성(thermoplastic) 수지 군과 열경화성(thermoset) 수지 군으로 나눌 수 있다. 하지만 국내에 사용되는 수지는 모두 열경화성 수지만 사용되고 있는 실정이다. 그 이유로는 CIPP 공법의 특성 상 dry tube로 사용되는 펠트에 함침(impregnation) 공정을 거쳐야 하기 때문에 기존의 열가소성 수지를 사용할 수 없기 때문이다. 따라서 열가소성 수지를 사용하기 위해서는 CIPP 공법이 아닌 변형관 삽입이나 제관공법이 적용되어야 할 것이다. 변

형관 삽입 공법에 사용되는 고분자 수지는 PE, PP가 가장 널리 사용되고 있으며, 그 외 PVC 수지도 사용하는 경우가 있다. 제관공법은 암거나 하수관거의 형태가 원형이 아니고 대형인 경우에 적용되는 공법으로 주로 PVC 수지로 생산된 PVC strip을 연속적으로 연결하여 관의 형태를 만들되 빈 공간에 몰탈을 채우면서 보수해 나가는 공법이다. 이 경우 PE나 PP strip은 수지의 strength와 stiffness가 낮고, dimensional stability가 낮아 관으로 성형하기 어려운 단점이 있어 PVC strip이 가장 널리 사용되는 실정이다. 다만, 유럽의 선진국에서 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) terpolymer를 사용하여 제관 공법에 적용하는 경우도 있으나 PVC 수지보다 brittle해서 널리 사용되지 않는 현실이다[6].

비 굴착 공법에 사용 가능한 수지는 크게 열가소성 수지 계열과 열경화성 수지 계열로 구분된다. 열가소성 수지 중 가장 대표적인 수지인 불포화 폴리에스테르 수지(Unsaturated Polyester Resin)는 포화 2염기산, 불포화 2염기산 및 글리콜(glycol)을 중축합(poly condensation)하여 중합하는 것으로 합성된 불포화 폴리에스테르(불포화 알키드)를 스티렌(styrene)등의 비닐계 단량체(monomer)에 용해하여 생산하게 된다. 불포화 폴리에스테르 수지는 상온에서는 담황색 내지 호박색의 상대적으로 낮은 점도를 지닌 액상수지이다. 불포화 폴리에스테르는 고분자 주쇄(backbone)에 불포화 이중결합(unsaturated double bond)을 가지고 있고, 분자 내에 에스테르기 (-COO-)를 포함하고 있어 불포화 폴리에스테르라는 이름을 갖게 된다. 불포화 폴리에스테르는 사용하는 포화산의 종류에 따라 각각 이소(iso), 오르소(ortho)형으로 나눌 수 있다. 사용하는 ring 구조의 산에서 염기산의 위치가 어디에 있느냐에 따라 iso 및 ortho type이 되는 것으로 일반적으로 orthophthalic acid를 사용하면 ortho type UPE가, isophthalic acid를 사용하면 iso type의 UPE가 생성되게 된다. ortho type은 사용 원료가 저렴하고 취급이 상대적으로 쉬워 수지의 가격이 저렴하여 일반적인 성형에 많이 이용되고 있으며 내후성, 내열성, 내약품성 및 내수성이 iso type과 비교할 때 비교적 낮고 중간 정도의 강성을 나타내는 특징이 있다[7]. Iso type은 ortho type과 비교할 때 내후성, 내열성, 내수성 등이 높아 주로 내후성과 내열성이 요구되는 성형에 이용된다.

불포화 폴리에스테르와 같이 대표적인 열경화성 수지

인 에폭시 수지는 고분자 주쇄에 2개 이상의 에폭시기를 가진 화합물을 말한다. 다른 열경화성 수지와 마찬가지로 경화제나 충전제를 조합하여 상온 또는 승온 환경에서 경화를 시켜 사용할 수 있다. 주된 용도는 도로나 접촉제외에 항공기의 구조재나 반도체의 봉지수지 등 일상 재료에서 첨단재료까지 광범위하다. 상기의 그림에 표시한 에폭시 수지는 에폭시 수지 중 가장 널리 사용되는 비스페놀-A형(Bisphenol-A) 수지로서 비스페놀-A와 에피클로로히드린(Epichloro hydrine)을 반응시켜 합성한다. 또한 liquid crystal의 일종인 Novolac을 활용한 Phenol-novolac형 에폭시 수지, 그 외에도 다양한 에폭시 수지가 생산되고 있으며, 에폭시 수지의 물성은 그 종류와 사용하는 경화제 조합에 따라 다르지만 일반적으로 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 접착성, 특히 금속이 우수하다.
- ② 치수안정성이 우수하다.
- ③ 내화학성, 내수성, 기계적 성질 및 전기절연성이 우수하다.

폴리우레탄 물성의 한 쪽 극단은 분자량이 크고 무정형이며 분지가 없는 폴리올(polyol)과 디이소시아네이트의(diisocyanate) 반응으로 얻어지는 엘라스토머이다. 이런 조성의 폴리우레탄은 100% 연질세그먼트에 준하고 우레탄 결합의 함량이 4-7% 정도에 불과하므로 분자간 인력도 거의 반델발스(Van der waals) 수준으로 낮다. 폴리우레탄 물성의 다른 쪽 극단은 이를테면 1,6-HDI와 1,4-BG의 반응에서 얻어지는 100% 경질세그먼트의 고결정성 폴리우레탄에서 찾아 볼 수 있다. 이 구조의 폴리우레탄은 -NH-와 -CO-기 간의 수소결합 밀도가 높아 고강도, 고경도, 저용해도의 열가소성 수지가 된다. 이와 같이 두 극단의 이성분계 폴리우레탄이 단일상의 고분자를 이루게 된다. 그러나 폴리올, 디이소시아네이트 및 쇠연장제(chain extender)로 부터 합성되는 폴리우레탄은 세그먼트형 블록공중합체가 되며 이들의 고차구조는 구성 요소의 화학적 조성 및 세그먼트의 길이 등에 의존한다. 아울러 폴리우레탄의 다양하고 독특한 물성은 바로 이 고차 구조에서 비롯된다. 이러한 특성을 지니고 있어 우레탄은 soft한 에테르(ether based) 형태와 rigid한 에스테르(ester based) 형태가 공존하는 독특한 형태의 고분자가 된다. 일반적으로 우레탄은 열가소성 수지로 알려져 있으며, ester 함량을 올려 경질 segment 부분을 늘

리고 3차원 구조를 만들면 열경화성 성질을 띠는 고분자 수지가 되면서 물과의 접촉에서도 수분에 대한 영향을 받지 않게되고 이를 이용하여 비굴착 부분에 적용하는 기술이 늘어나고 있다.

2.2 공법에 따른 수지 사용성

본 연구에서는 기존의 불포화 폴리에스테르 수지 이외의 적용이 가능한 수지를 찾는 것이 목표이다. 사용 가능한 수지는 공법의 종류에 따라 바뀌기 때문에 공법 별로 가능성을 연구하였다.

제관 공법(Spirally wound pipe)은 주로 PVC strip에 의한 제관, ABS strip에 의한 제관 등이 가능하지만 가격과 치수 안정성 및 내충격성을 고려할 때 PVC strip에 의한 제관이 가장 적합한 것으로 판단된다.

변형관 삽입 공법(Lining with continuous pipe)은 변형관의 삽입시 기존의 열경화성 수지가 아닌 열가소성 수지의 연성(flexibility)을 활용하는 공법으로 주로 연성이 좋은 PE 수지가 가장 널리 사용되고 있으며 가끔 PP 또는 PVC 수지가 사용되기도 한다.

현장경화관 공법(Cured in Place Pipe)은 열경화성 수지를 사용하여 갱생하는 공법으로 역사가 가장 오래되었으며 아직도 가장 널리 사용되는 공법이다. 견인식이나 반전식 공법일 경우에는 펠트에 수지를 함침시켜 사용해야 하기 때문에 사용 가능한 수지는 액상의 저점도인 불포화폴리에스테르 수지, 에폭시 수지, 우레탄 수지 등이 가능하지만 국내에서는 우레탄 수지의 사용이 없었던 현실이다. 이는 우레탄 수지와 관련된 국가표준의 부재와도 관계가 있으며 외국의 우레탄 수지 사용 기술이 아직 국내에 들어오지 않은 이유가 있는 것으로 판단된다.

3. 실험재료 및 방법

3.1 폴리우레탄 수지

본 연구에서는 우선 'KS M 3550-7 : 2013 : 열경화성 수지를 이용한 수도배관 시설용 현장 경화 비굴착 보수 튜브'에 명기되어 있는 주 재료 중 수지 부문에서 우레탄 수지의 CIPP 용 수지 적용을 위하여 사전연구에서 수행된 결과를 기초로 최적 배합으로 결정된 우레탄 수지에 대한 시험을 하였다.

3.2 기본물성 시험

겔화시간은 고분자 졸을 가열개시 후, 도는 경화제를 첨가 배합하고서 겔을 생성하기까지의 시간으로 정의된다. 겔화시험은 제작된 수지시료를 정해진 실험 온도조건으로 세팅된 항온수조에 넣고 시간에 따른 온도를 측정하였다. 측정된 결과로부터 온도에 따른 각각의 수지시료의 겔화시간을 평가하였다. 겔화시험장치는 Fig. 1과 같다.

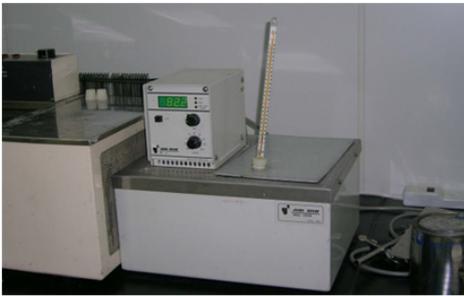


Fig. 1. Test Setup for Gelation Time

Pot life는 일반적으로 화학적 반응을 통해 수지가 경화되는 시간을 의미한다. Pot loft는 사용되는 경화제(curing agent or hardener)에 따라 다른 값을 나타낸다.

3.3 재료 강도 시험

폴리우레탄 경화물드의 강도특성을 평가하기 위하여 인장강도, 인장접착강도, 휨강도, 신장율, 흡수율 시험을 실시하였다. 시험은 Fig. 2의 만능시험기(UTM)를 이용하여, KS M 3015, M 3374, M 3015, M 3006, M ISO 62 기준을 준용하였다.



Fig. 2. UTM for Tensile Strength

4. 실험결과 및 분석

4.1 폴리우레탄 기본물성 시험

각각의 항목에 대한 실험은 KS M 표준시방규정에 따라 시행되었다. 폴리우레탄 액상에 대한 시험 항목은 점도, 밀도(비중), 가사시간, 겔화시간, 휘발분에 대하여 실시하였다. Table 1에 나타난 것과 같이 5가지의 개별 항목 모두 시방기준 값을 만족하는 것으로 나타났다. 폴리우레탄 수지의 점도는 기존 에폭시 규격이 5,000 poise 이하이나 폴리우레탄의 경우 5,700 poise 로 차이를 보여주고 있으며, 밀도의 경우도 예상 할 수 있듯이 폴리우레탄이 낮게 나타났다.

폴리우레탄 수지의 가사시간은 에폭시 수지 기준 12시간 이상에 비하여 폴리우레탄은 52.4시간으로 길게 나타났다. 겔화시간은 에폭시 수지 기준 15시간 이상에 비하여 폴리우레탄은 72 시간으로 길게 나타났으며, 휘발분은 에폭시 수지로 설정한 기준과 유사하게 나타나고 있다.

Table 1. Properties of Liquid Polyuerthane

items	unit	results	specific-ation	KS Criteria
Viscosity	poise	5700	< 7000	KS M 3705
Density	g/cm ³	1.07	> 1.0	KS M ISO 2811
Pot life	hour	52.4	> 48	KS M 6030
Gel Time	hour	9.3	> 8	KS M 6030
volatile contents	%	3.0	< 5.0	KS M ISO 3251

4.2 폴리우레탄 수지 강도 특성 시험

폴리우레탄 경화물드는 인장강도, 인장접착강도, 휨강도, 신장율, 흡수율 시험을 실시하였다. 실험결과는 Table 2에 나타난 것과 같다. 폴리우레탄 수지 주형시편의 각종 강도는 예상할 수 있듯이 에폭시 수지 주형시편에 비하여 낮게 나타나고 있으며, 연신율은 일반적으로 강도와 반대로 나타나는 바, 본 시험에서도 에폭시 수지 경화물드 기준에 비하여 약 30배 정도로 나타나고 있다.

폴리우레탄 경화물드의 인장강도는 11 MPa로 KS 기준값 10 MPa를 만족하였다. 인장접착강도는 7.01 MPa로 측정되었다. 굴곡강도는 10.6 MPa로 기준을 만족하였다. 폴리우레탄 수지의 신장율은 61%로 측정되었고, KS 기준값인 50을 상회하였다. 폴리우레탄 수진에 대한 강도특성 시험 결과로부터 본 연구에 사용된 폴리우레탄

수지를 제관공법에 사용할 수 있는 것으로 판정되었다.

Table 2. Results of Molded Polyurethane Specimen

Itmes	Unit	Results	Specification	KS Criteria
Tensile Strength	MPa	11.0	> 10	KS M 3015
Tensile Adhesion Strength	MPa	7.01	> 6.0	KS M 3734
Flexural Strength	MPa	10.6	> 10.6	KS M 3015
Ductility	%	61	> 50	KS M 3006
Absorption	%	0.34	< 0.5	KS M ISO 62

4.3 폴리우레탄 수지 CIPP 시험

폴리우레탄 수지 CIPP를 시험한 결과를 기존 ‘KS M 3550-7 : 2013 : 열경화성 수지를 이용한 수도배관 시설용 현장 경화 비굴착 보수 튜브’의 규격과 비교하면, 액상과 경화몰드 두 가지 모두에서 기존 규격과 다름을 알 수 있다. 실험결과는 Table 3에 제시하였다.

폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 인장강도는 16.2 MPa로 에폭시 수지의 CIPP 인장강도 기준 20.5 MPa에 부족하게 나타나고 있다. 폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 굴곡강도도 에폭시 수지 CIPP 기준 31.4 MPa에 비하여 낮은 18.4 MPa로 나타나고 있다. 폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 굴곡탄성율은 에폭시 수지 CIPP 기준 1.7 GPa에 비하여 낮은 0.57 GPa로 나타나고 있다. 폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 박리강도의 경우 에폭시 수지 CIPP 기준 178.6 g/mm에 비하여 2배 이상 높은 478 g/mm으로 나타나고 있다. 폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 연신율은 에폭시 수지 CIPP 기준 2.2% 보다 2배 이상 높은 6.3%로 2배 이상 높게 나타났다.

Table 3. In-Place CIPP

Itmes	Unit	Results	Specification	KS Criteria
Tensile Strength	MPa	16.2	> 10	KS M 3006
Flexural Strength	MPa	18.4	> 12	KS M 3015
Flexural Stiffness	GPa	0.57	> 0.4	KS M 3015
Peel Strength	g/mm	478	> 350	ASTM D 903
Ductility	%	6.3	> 5.0	KS M 3006

4.4 위생안전기준 평가 시험

CIPP 관련 표준인 KS M 3550-7에 따르면 수지특성에서 인장전단 접착강도 시험이 있으나 본 연구에서는 주철관에 CIPP를 현장경화 부착하여 박리강도, 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준에 따른 용출시험을 실시하였다. 실험결과는 Table 4와 같다. 수도용 자재 및 제품 위생안전기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 4. Leaching Tests for Water Works Materials and Products by Safety Standard

Items	Unit	Results	Specification
Lead	mg/L	N.D.	0.001
Arsenic	mg/L	N.D.	0.001
Mercury	mg/L	N.D.	0.0001
Cadmium	mg/L	N.D.	0.0005
Copper	mg/L	N.D.	0.001
Hexavalent Chromium	mg/L	N.D.	0.005
Tetrachloride Carbonhydrate	mg/L	N.D.	0.0002
Dechloromethane	mg/L	N.D.	0.001
1,1,1-Trichloroethane	mg/L	N.D.	0.001
1,1,2-Trichloroethane	mg/L	N.D.	0.0005
Benzene	mg/L	N.D.	0.001
1,1-Dichloroethylene	mg/L	N.D.	0.001
1,2-Dichloroethane	mg/L	N.D.	0.0001
Trichlorethylene	mg/L	N.D.	0.001
Tetrachlorethylene	mg/L	N.D.	0.0005
Epichlorohydrin	mg/L	N.D.	0.005
Vinyl Acetate	mg/L	N.D.	0.005
Styrene	mg/L	N.D.	0.001
1,2-Butadiene	mg/L	N.D.	0.001
1,3-Butadiene	mg/L	N.D.	0.001
N,N-Dimethylaniline	mg/L	N.D.	0.01
Phenols	mg/L	N.D.	0.0005
Turbidity	NTU	0.18	NA
Chromaticity	Degree	0.3	NA
Porassium Consumption	mg/L	0.9	NA
Odor	-	N.D.	NA
Flavor	-	N.D.	NA

5. 결론

본 연구에서 우레탄 수지를 CIPP용으로 사용할 수 있는지 살펴보기 위하여 국가표준에 의거하여 물성 시험을 진행 하였으며 그 결과 폴리우레탄 수지는 인체에 무해하고 현장 시공 시 발생하는 악취 등 대기오염물질이 발생하지 않으므로, 근로자의 작업환경을 개선하고 휘발물질 냄새로 인한 민원발생을 방지할 수 있는 수지라고 판단하였으며 그 결과 CIPP에 적용 가능한 수지라고 판단하였다.

폴리우레탄 수지의 시험한 결과 폴리우레탄 수지의 접도, 가사시간, 겔화시간 등은 에폭시 수지 기준에 비하여 폴리우레탄이 낮게 나타나고 있으며, 휘발분은 에폭시 수지로 설정한 기준과 유사하게 나타나고 있고, 연신율은 약 30배 정도로 나타나고 있다.

폴리우레탄 수지를 이용한 CIPP의 인장강도, 굴곡강도 및 굴곡탄성을 등 강도와 관련된 값은 에폭시 수지 CIPP 시편에 비하여 낮게 나타나고 있으나 연신을 및 박리 강도는 2배 이상 높아 밀착성이 대단히 우수한 것으로 나타났다. 일반적으로 재료의 강도가 강할수록 마모율은 높아져 단단한 강성이 높은 플라스틱 재료는 마모율에서 떨어지게 된다. 폴리우레탄 수지는 에폭시 수지에 비하여 밀착성이 우수하고 마모에 대한 저항도 높아 밀착성을 요구하는 CIPP 공사에 보수용 수지로 사용할 수 있을 것으로 판단한다.

References

- [1] Korea Institute of Civil Engineering (2001), Research on Development of Repairing Technology for Underground Facilities, Report, pp. 35-49
- [2] Song, H.M., Kim, S.H, Lee, K.C. and Jeong, C.K. (1999), "A Study on the Cost Anlysis for No-Dig Sewer Rehabilitation", Korean Society of Environmental Engineers, Fall Conference (1), pp. 183-184
- [3] Ministry of Environment (2005), Front Rebuilding Process using High Viscosity Mortar of Vinyl Chloride, Special Canning, and Filling Facility, New Environmental Technology, pp. 75-90
- [4] Jo, J.I., Song, H.M. and Kim, Y.T. (2006), "Application of Trenchless Pipe Lining System by Close-Fit Pipe Lining", Korean Society of Water and Wastewater, Fall Conference, B-1, pp. 6
- [5] EPA (1999), "Trenchless Sewer Rehabilitation", Collection Systems O&M Fact Sheet, pp. 10.
- [6] Trenchless Technology (2013), "Pipe Relining", Special Report, pp. 40
- [7] Shiwei Guan (1995), " A Performance Evaluation of Internal Linings for Municipal Pipe : 100% Solids Polyurethane, Ceramic Epoxy, Polyethylene", Reoprts, pp. 16.

박 준 하(Jun-Ha Park)

[정회원]



- 2013년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (석사과정)

<관심분야>
지반환경분야

전 상 열(Sang-Yeol Jeon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 연세대학교 토목공학 전공 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (박사과정)

<관심분야>
지반환경공학

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



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

<관심분야>
지반환경공학