도심 지반 침하 방지를 위한 하수관 부분 보수 공법 개발

Development of a Partial Repair Process for Sewer Lines to Prevent Ground Subsidence in Urban Areas

홍석인* · 양원직**

Hong, Seok In*, and Yang, Won Jik**

Abstract

Ground subsidence and pollutant runoff due to old sewer lines have been considered a major urban problem. Accordingly, the central and local governments are continuously making efforts to repair the sewage lines. In this study, an economical sewage line repair method based on glass fiber was developed, and its performance was evaluated. In the case of physical characteristics, it was found that the new method can secure more stability and strength compared to the existing sewer pipe repair method. In addition, it was found that economic efficiency was effectively improved by more than 10% in sewage pipes of 300 mm or more and 28%, which is the maximum value in 900 mm pipes, compared to the existing, similar process. In particular, since 70% of domestic sewer pipes are composed of pipes with a diameter of 300 mm or more, the partial repair method developed through this study is expected to be economically beneficial for sewer pipe repairs in the future.

Key words : Ground Subsidence, Sewer Line, Glass Fiber, Partial Repair, Economical Process

요 지

하수관거 노후화로 인한 지반침하 및 오염원 유출은 주요 도시 문제로 제시되고 있다. 이에 중앙정부 및 지방자치단체에서 지속적으로 하수관거 보수에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 본 연구에서는 유리섬유를 기반으로 보다 경제적인 하수관거 부분 보수 공법을 개발하고 그 성능을 평가하였다. 물리적 특성의 경우, 기존 하수관거 보수 공법과 비교하여 안정적인 강도를 확보할 수 있다는 것으로 나타났다. 또한 기존 유사 공법 대비 300 mm 이상 하수관에서 10% 이상 그리고 900 mm에서 최대치인 28%의 경제성 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 국내 하수관거의 70%가 직경 300 mm 이상 하수관으로 구성되어 있기에 본 연구를 통해 개발된 하수관거 부분 보수 공법은 향후 경제적 하수관거 보수에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지반 침하, 하수관거, 유리섬유, 부분 수리, 경제적 공정

1. 서 론

국내에서 지속적으로 발생하고 있는 지반침하는 시민 안전과 사회기반시스템을 위협하는 핵심 요인 중 하나이다. 지반침하가 발생하는 원인은 자연적과 인위적 원인으로 분류 할 수 있다. 자연적 원인은 지하수에 의해 석회암이 용해되어 공동을 형성하고, 형성된 공동으로 인해 상부 지반

이 함몰되는 것이다. 이처럼 자연적 원인으로 발생하는 지반 함몰 현상이 싱크홀이며, 주로 석회암 지대에서 발생한다. 반면, 지하 매설물의 영향 및 인위적 행위로 인한 지하수위 변화 등 인위적 원인에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있다. 우리나라의 경우 싱크홀이 주로 발생하는 석회암층 지역이 많지 않기에 인위적인 요인에서 발생하는 지반침하가 대부분으로 보고되고 있다.

*정회원, 광운대학교 재난안전공학과 박사과정(E-mail: yyy001@empas.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Disaster Prevention & Safety Engineering, Kwangwoon University

**교신저자, 정회원, 광운대학교대학교 재난안전공학과 교수(Tel: +82-2-940-5611, Fax: +82-50-4401-4959, E-mail: yangwj@nate.com)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Disaster Prevention & Safety Engineering, Kwangwoon University

Table 1은 국토교통부에서 발표한 2015~2018년 우리나라 지반침하의 현황 및 그 발생 원인이다. 먼저, 국내 지반침하는 2015년~2018년 사이 약 1,072건이 발생하였으며, 약 40% 이상이 하수관 노후화로 인한 것으로 보고되었다. 특히, 2018년에는 발생한 지반침하의 약 41% (총 342건 중 140건) 이 하수관거 노후화로 인해 발생한 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 현재 국내에서 발생하는 지반 침하의 주요 원인은 하수관거 노후화임을 뒷받침한다.

노후화 하수관거가 지반침하의 원인으로 작용하는 과정은 하수관거를 통해 이송되던 하수가 노후화된 부분을 통해 하수관 주변 지반으로 누수되게된다. 이 후 지속적으로 누수된 하수로 인해 토양 유실 및 공동 형성이 발생하여 지반침하를 유발하게 된다(Oh et al., 2015). 특히, 이와 같은 도심지에서 발생하는 인위적 지반침하는 인명 및 공공·개인 재산 피해 위협을 더욱 증가시키며 이에 대한 대책이 필요하다 (Park and Park, 2014; Song, 2019). Kim and Jung (2018a, 2018b)은 지하수위 저하가 지반 함몰에 미치는 영향 그리고 Kim and Kang (2016)은 도심지역 지반침하(싱크홀)의 원인과 관리적 대책에 관한 연구 등과 같이 국내 여러 연구진들이 지반침하 발생원인 규명 및 방지 대책에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히, Oh et al. (2015), Lee (2018), Kwak et al. (2019) 그리고 Chung et al. (2020)은 하수관거로 인해 발생하는 지반침하에 대한 예측 및 방지 방안에 대해 집중적으로 연구하여 그 결과를 발표하였다. 이에 Fig. 1과 같이 매년 중앙정부 및 지방자치단체에서도 하수관거로 인해 발생하는 지반침하에 대한 방지방안으로 노후 하수관거 보수를 실시하고 있다. 이처럼 하수관거 보수는 지반침하 예방을 위한 방안으로 주목받고 있는 상황이라 할 수 있다.

Fig. 1. Status of Sewer Line Repair in Korea (2009 ~ 2018)

앞 서 서술한 바 다수의 연구진에 의해 하수관거 노후화가 지반침하에 미치는 영향이 연구되었다. 이에 Chung and Kang (2012) 알루미나계 바인더(Cacium Aluminate Cement, CAC)와 재유화형 분말 수지(E.V.A powder)를 이용하여 관거의 내화학적성을 개선시킬 수 있는 공법, Park et al. (2015) 폴리우레탄수지를 이용한 하수관거 비굴착 보수 공법, Cho (2008) 시멘트계 하수관거 보수 재료 평가 등 다양한 하수관거 보수 공법 개발에 대한 연구도 수행되었다. 그 결과 현재 에폭시계, 폴리에스테르계, 폴리우레탄 및 고무·아스팔트 계 등의 유기계 재료 및 시멘트계의 무기계 재료를 활용한 다양한 공법들이 하수관거 보수에 활용되고 있는 상황이다 (Chung and Kang, 2012; Kang, 2013). 하지만, 현재까지 연구·개발된 하수관거 보수 공법은 전체 하수관거 보수 공법, 시공 시 전용 장비 요구, 관거 종류에 따라 적용성 제한, 2차 오염 발생 가능성 및 보수 후 안정성 확보 등의 문제점이 지속적으로 제기되고 있다. 특히, 하수관 누수로 인한 2차 오염은 지하수 및 토양 오염을 초래할 수 있으며, 이는 국내 수생태계 오염원 유입에 기여할 가능성이 높다.

따라서 본 연구에서는 지반침하 방지를 위한 주요 대책으로 활용되는 하수관거 보수에 대한 국내 161개 시·군의 하수관거 노후화 및 보수 현황을 분석하였다. 또한, 친환경·경제적 재료인 유리섬유 여재를 기반으로 경제적이며 안정적인 하수관거 부분 보수 공법을 개발 및 평가하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 유리섬유 기반의 하수관거 부분 보수 공법

본 연구를 통해 개발된 공법은 유리섬유를 하수관거 보호 보수재로 활용하는 것으로 연구 개발 공법의 특징은 다음과 같은 세 가지를 들 수 있다. 첫 째, 유리섬유를 밀폐재로 적용하여 경제성, 안전성 및 2차 오염 예방, 둘 째, 보수재를 U형태로 접목시켜 하수관거 단부 보호, 유리섬유의 비산 등 2차 오염 방지 및 단차 발생 방지, 마지막으로, 보수 시 뒤틀림으로 인한 보강재의 불균형 팽창 문제와 같은 시공 상 문제 방지를 위한 뒤틀림방지 밴드 적용으로 정리할 수 있다. 이와 같은 공법적 특징을 바탕으로 기존의 상용화 기술 수준의 물리적 안정성을 확보하고, 경제성을 확보한 하수관거 부분 보수 공법을 개발하고자 하였다. Fig 2는 본 연구를 통해 개발한 유리섬유 기반 하수관거 보수 공법 및 뒤틀림 방지 밴드의 구성을

Table 1. Status of Ground Subsidence according to Causative Factor in Korea (All unit is case)

Year	2015	2016	2017	2018	2015 ~ 2018
Total	191	259	280	342	1,072
Sewer line	66 (34.6%)	90 (34.7%)	143 (51.1%)	140 (40.9%)	439 (40.9%)
Water line	53 (27.7%)	53 (20.5%)	41 (14.6%)	36 (10.5%)	183 (17.1%)
Poor excavation work	13 (6.8%)	19 (7.3%)	13 (4.6%)	10 (2.9%)	55 (5.1%)
Etc.	59 (30.9%)	97 (37.5%)	83 (29.6%)	156 (45.6%)	395 (36.9%)

(a) Schematic diagram of developed process

(b) Schematic diagram and picture of twist prevention band

Fig. 2. Schematic Diagram of Developed Process and Prevention of Twist Band

확인 할 수 있다. 또한, 유리섬유 및 뒤틀림 방지 밴드 적용에 따라 시공 방법 역시 기존 기술들과 차이점이 발생하며, 이는 Fig. 3에 정리하였다. 본 공법의 순서는 먼저 CCTV를 기반으로 보수 대상 지점을 파악한 후 보수 대상 지점에 채움재를 제작하여 U형으로 선택적으로 설치한다. 여기에 유리섬유 기반의 친환경 단부 보호 보수재 함침시키며, 부착력 개선을 위해 양쪽에 뒤틀림방지밴드를 결합시킨다. 결합된 단부 보호재를 보수 위치로 이동시키고, 하수관거 중심축에 맞도록 조절한다. 이 후 뒤틀림방지밴드를 확장시키며 보수재에 공기압을 주입하여 보수재를 보수지점에 부착시킨다. 마지막으로 부분 보수 장치에서 공기압을 제거시켜 부분 보수 장치를 회수하는 것으로 정리할 수 있다.

Fig. 3. Construction Flowchart of Developed Process

2.2 물리적 특성 및 경제성 분석 방법

본 연구에서 물리적 특성 항목은 하수관거 주요 검증 항목인 인장강도(Tensile Strength), 외압강도(External Pressure), 굽힘강도(Flexural Rigidity) 그리고 부착강도(Bond Strength) 총 4개 항목을 분석하였다. 외압 강도는 시험편이 파괴되었을 때의 하중을 기준으로, 인장강도는 중앙부가 부러졌을 때의 하중 그리고 굽힘강도는 보수재 부착 후 휘어짐이 관찰되는 시점의 하중을 기준으로 모두 KS M 3015에 의거하여 측정을 실시하였다. 마지막 부착강도는 자체 시험을 실시하여 보수재에 직접적 비틀림 하중을 가해 떨어짐이 발생하는 순간의 하중을 기준으로 측정하였다. 경제성 분석의 경우 기획재정부계약예규 제 464호 예정가격작성기준에 의거하여 순공사비 산출금액을 산정하였다. 본 연구에서 수행한 물리적 특성 분석 실험은 Fig. 4를 통해 확인 할 수 있다.

3. 연구결과

3.1 국내 하수관거 노후화 현황 분석

2018 하수도통계에 따르면, 국내 하수관거의 총 연장은 156,257 km이며, 그 중 20년 이상 경과된 하수관거(2000년 이전 설치 하수관거)의 연장은 71,841 km로 총 연장 대비 약 46%로 조사되었다. 하지만, 하수관거 보수를 주체적으로 실시하는 국내 지자체의 경우, 도시 개발 시점의 차이가 존재하기에 이와 같은 국가 전반적인 통계로 세부적인 하수관거 노후 현황을 파악하기에는 한계가 존재한다. 따라서,

(a) Concrete

(b) Plastic

Fig. 4. Photo of Physical Characteristic Test in This Research

Fig. 5는 2018년 하수도통계 자료를 기반으로 국내 시·군 별 설치 후 20년 이상 경과된 하수관거의 비율을 분석하였다. 개별 시·군을 대상으로 분석하면, 전체 시·군(총 161개) 중 17.4%인 28개 지역의 경우 2000년 이전 설치된 하수관거의 비율이 0.0%로 집계되었기도 하였으나, 대부분의 지역에서 노후화가 우려되는 하수관거가 존재하고 있는 것으로 나타났다. 20년 이상 경과한 하수관거 비율이 약 50% 이상 지역은 약 30% 수준, 60% 이상인 지역의 비율도 약 20%로 분석되었다. 특히, 경기도, 전라도, 충청도의 17지역(11%)은 70% 이상의 하수관거 노후화 비율을 보여, 해당 지역의 하수관 모니터링 및 보수 사업이 시급할 것으로 판단된다. Table 2에서 정리한 우리나라 주요 도시인 특별시 및 광역시 지역의 20년 이상 경과된 하수관거 비율은 13.2%~74.0% (평균 58.8%)의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 하지만, 2010년 「세종시 설치 등에 관한 특별법」에 의해 본격적 개발이 이루어진 세종특별시를 제외하면, 20년 이상 경과된 하수관거 비율은 64.5%로 노후 하수관거의 비율이 높음을 알 수 있다. 특히, 서울특별시, 부산광역시 그리고 대구광역시의 경우에는 노후하수관거 비율이 70% 이상으로 조사되었다. 이와 같은 국내 특별시, 광역시 및 시·군 지역의 현황은 국내 시·군 지역의 하수관거 보수 및 교체가 필요한 시기가 도달하였음을 보여준다(ME, 2019).

Fig. 5. Accumulate Graph of Old Sewer Line (Over 20 Year) in Domestic Local Government

3.2 국내 하수관거 부분 보수 현황 분석

2018년 하수관거 부분보수 비율(부분보수 하수관거 길이 / 전체 하수관거 보수 길이)은 전국 기준 1.1%를 보였으며, 국내 하수관거 사업은 대부분은 전체보수 위주로 이루어지고 있음을 확인할 수 있다(ME, 2019). Fig 6은 국내 시·도의 하수관거 부분 보수비율을 누적그래프를 통해 분석하였으

Table 2. Status of Sewer Line in Metropolitan City in Korea (All unit is 'km')

City	Total Sewer line	Before 2000 sewer line	Ratio
Seoul	10,728	7,651	0.713
Busan	9,407	6,963	0.740
Daegu	6,030	4,450	0.738
Incheon	5,649	3,287	0.582
GwangJu	4,371	2,714	0.621
Daejun	3,563	2,492	0.699
Ulsan	4,399	2,606	0.593
Sejong	1,158	153	0.132
Jeju	4,265	2,037	0.478
Range (average)	-	-	0.132 ~ 0.740 (0.588)

Fig. 6. Status of Partial Sewer Line Repair in Domestic Government (2018)

며, 정읍시, 예산군, 청양군 등 14개 지역(국내 시·군 지역의 약 8.7%)에서는 2018년 실시한 하수관거 보수 사업 전체가 하수관거 부분 보수사업으로 이루어져 일부 지역의 경우 하수관거 부분 보수 공법을 적극적으로 활용하고 있음을 알 수 있다. 반면, 하수관거 부분보수비율을 누적그래프를 통해 분석한 결과 국내 10% 이하의 부분 보수비율을 보이는 시·군 지역이 국내의 74% 수준으로 나타났다. Table 3에서는 국내 주요 도시의 하수관거 보수 현황을 정리하였다. 인천의 경우 전체 하수관거 보수 길이 9,618 m 중 약 37.8%의 구간에서 부분보수 공법을 적용하여 하수관거 부분 보수 비율이 국내 광역시 중 가장 높은 것으로 조사되었다. 반면, 울산광역시(6.3%)를 제외하고 광역시 규모에서는 전반적으로 5% 이하의 부분 보수 비율을 보였다. 특히, 우리나라 대표 도시인 서울특별시와 부산광역시는 각각 0.8%와 1.6%로 상대적으로 부분보수의 비율이 낮음을 확인 할 수 있으며, 국내 지자체 별 부분 보수비율에 관한 편차가 크다는 것을 파악 할 수 있다. 이와 같은 현황 분석 결과는 사회 기반 시스템에 안정성 확보 및 행정상의 편의 등의 원인으로 부분 보수로 해결할 수 있는 사항도 전체 보수 위주로 이루어지고 있을 문제점이 제기 될 수 있다. 하지만, 아직 국내에는 하수관거 부분 보수와 전체 보수 적용을 결정하는 세부적인 규정이 존재하지 않아 하수관거 보수 시 부분 보수와 전체 보수를 결정하기에 많은 어려움이 따른다. 즉, 현재 부분

보수 및 전체 보수를 결정할 수 있는 기준이 수립되지 않은 상황이기때 부분 보수로 해결할 수 있는 부분도 전체 보수를 도입하는 문제점이 있으며, 이에 대한 기준 마련에 관한 연구가 시급하다.

Fig. 7은 국내 시·군 지역의 하수관거 전체 보수와 부분 보수 실시 연장 분석 결과를 보여주고 있다. 앞 서 언급한바와 같이 우리나라에서는 하수관거 보수를 위해 전체 보수 공법과 부분 보수 공법이 적용되고 있으며, 대부분 전체 보수 공법 위주로 사업이 진행되고 있다. 하수관거 보수 길이를 살펴보면, 2018년 기준 국내 시·도 중 남양주시에서 가장 긴 연장의 하수관거 보수(906,505 m)를 실시하였으며, 중앙값 기준 1,136 m로 분석되었다.

Fig. 7. Length of Partial Sewer Line Repair in Domestic Government

반면, 부분 보수 공법의 경우, 인천광역시에서 최대 연장 (5,839 m)을 보였으며, 중앙값 기준으로 71 m로 나타났다. 연장 길이의 차이는 최대값 기준 155배 그리고 중앙값 기준 16배로 나타났으며, 이는 하수관거 부분 보수 공법 적용 연장이 상대적으로 짧음을 보여준다. 하지만 부분 보수의 경우 보수가 필요한 짧은 연장에 선택적으로 적용이 가능하며, 다수의 지자체에서 하수관거 부분 보수를 적극적으로 도입할 가능성이 있다는 것을 보여주는 결과로 볼 수 있다. 즉, 향후 단구간 보수 시 부분 보수 공법이 적극적으로 도입될 경우 하수관거 부분 보수 분야의 활성화가 이루어질 수 있을 것으로 예측된다.

Table 3. Status of Partial Sewer Line Repair in Domestic Metropolitan City (Sewer line unit is ‘m’)

Local	Korea	Seoul	Busan	Daegu	Incheon
Ratio (Partial /Total)	1.1% (21,805 / 1,967,323)	0.8% (2,078 / 261,514)	1.6% (724 / 45,075)	0.0% (0 / 23,659)	60.7% (5,839 / 9,618)
	Gwangju	Daejun	Ulsan	Jeju	Sejong
Ratio (Partial /Total)	2.7% (196 / 7,236)	0.7% (53 / 7,915)	6.3% (780 / 12,374)	0.1% (16 / 2,647)	100.0% (114 / 114)

* Ratio is partial sewer line repair length / total sewer line repair length

3.3 유리섬유 기반 기술의 물리적 특성 분석

앞 선 3.1과 3.2절을 통해 국내 하수관거 보수 사업의 현황을 분석하였다. 이에 2장에서 설명한 유리섬유 여재 기반의 부분 보수 공법을 개발하였으며, 개발한 공법을 기반으로 물리적 개선 효과를 분석하였다. Fig. 8은 본 연구를 통해 개발된 유리섬유여재 기반의 공법을 콘크리트 및 플라스틱 재질의 하수관거에 적용하였을 경우 외압강도 개선 효과를 보여주고 있다. 콘크리트 재질 하수관거의 경우 약 231% 그리고 플라스틱 재질 하수관거의 경우 약 488%의 개선효과를 보였다. 각 관거 재질 별 외압강도 개선 효과에서 차이를 보인 것은 기본적으로 플라스틱 하수관거의 외압강도가 낮은 조건에서 본 기술을 통해 보수된 부분이 압축에 대해 강한 저항을 보여 콘크리트 재질보다 높은 개선 효과를 보인 것으로 판단된다. 특히, 이와 같은 결과는 본 연구개발 기술이 다양한 재질의 하수관거에 적용되어도 안정적인 외압강도를 확보할 수 있다는 것을 보여주는 결과라 할 수 있다.

Fig. 8. Improvement of External Pressure according to Sewer Line Material

Fig. 9는 인장강도, 외압강도, 굽힘강도 그리고 부착강도 4가지 항목에 대해 본 연구 개발 기술을 적용하였을 경우 개선되는 강도를 기준으로 기존 상용화된 기술 대비 개선 정도를 비율적으로 나타내었다. 이를 통해 전반적인 물리적 특성에 대해 본 연구를 통해 개발된 기술과 기존 기술 간의 상대적 개선 효과를 분석하였다. 본 연구의 비교대상 공법으로는 본 공법과 동일한 라이닝공법으로 분류할 수 있으며, 환경산업기술원 신기술 인증을 받은 선도적 기술들을 선정하였다. 비교 대상 공법은 본 논문에서는 명확하게 표현하기에는 다소 적합하지 않다고 판단하여 A, B, C 공법으로 표시하였다. 비교 A 공법의 경우, 상대적으로 인장강도와 외압강도에서 본 연구 개발 공법과 비교하여 높은 개선효과를 보이는 것으로 분석되었다. 하지만, 굽힘강도와 부착강도에서의 효율성은 검증되지 않은 문제점을 가지고 있다. B 공법과 C 공법의 경우 각 각 외압강도 그리고 굽힘강도 및 부착강도에서 본 연구 기술 대비 높은 개선 효율을 보였다. 본 연구 개발 기술의 경우 A 공법을 제외한 타 공법과 그 강도 효율 개선 정도는 유사한 것으로 나타났으며, 4가지 항목 전반에 걸쳐 안정적인 강도 개선 효과를 보이는 것으로 분석되었다. 본 연구 개발 기술이 기존 기술과 유사한 수준의 안정적인 물리적 특성을 보일 수 있는 것은 유리섬유만을 보수보강재로 활용한 타 공법보다 상대적으로 중앙부가 두껍게 부착되어 관거의 강도를 확보할 수 있게 한 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 본 연구 개발 기술을 통해 안정적인 강도를 확보할 수 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

3.4 유리섬유 기반 기술의 경제성 분석

Fig. 10은 본 연구 개발 공법과 기존 B 공법과 하수관거 직경에 따른 단위 길이(m) 당 시공비를 기준으로 실시한 경제성 분석을 실시하였다. B 공법을 경제성 분석 비교

Fig. 9. Comparison of Improved Physical Characteristics with Advanced Sewer Line Repair Process

Fig. 10. Analysis of Repair Cost Per Meter according to Sewer Line Diameter

평가 대상으로 선정한 이유는 다른 공법과는 다르게 앞 서 4가지의 물리적 특성 개선 효율 분석이 이루어졌으며, 각 항목에서 모두 이루어진 본 기술과 가장 유사한 효율을 보이는 공법으로 판단하였기 때문이다. 경제성 분석은 공사 기간 동안 필요한 인력의 노무비, 공사에 사용되는 재료비용 및 기타 장비 사용 비용 등의 경비를 기준으로 분석을 실시하였다. 노무비와 장비 사용의 경비 단가 등 타 공법과 동일하게 소비되는 항목에 대해서는 동일하게 적용하였으며, 해당 부분에서 차이는 예상 공사 기간이 영향을 주도록 하였다. 경제성 분석 결과 전반적으로 본 연구 개발 기술의 B 공법과 비교하여 경제적인 것으로 나타났으며, 하수관거 직경이 증가할수록 경제적 효과가 증가하는 경향을 보였다. B 공법 대비 본 공법의 경제성은 하수관거 직경 300 mm를 기준으로 약 92%, 450 mm를 기준으로 약 90% 그리고 900 mm의 경우 최대 약 72% 수준으로 분석되었다. 이처럼, 본 연구 개발 공법이 경제성을 확보할 수 있는 부분은 재료비에 해당하는 것으로 상대적으로 경제적 장점이 있는 유리섬유여재를 본 연구 개발 공법의 핵심 재료로 사용되었기 때문이라 판단된다. 특히, 앞 선 물리적 특성 분석 결과와 비교하여 유사한 개선 효과를 보인 B 공법 대비 최대 72% 수준의 시공비 차이는 본 연구 개발 기술의 명확한 경제적 장점을 보여주는 결과라 할 수 있다. 또한 Fig. 11은 우리나라 하수관거의 직경별 현황을 보여주는 것으로 우리나라 하수관거의 약 70%는 300 mm 관거 이상으로 구성되어 있음을 확인 할 수 있다. 이와 같은 국내 하수관거 직경 별 현황과 함께 고려해볼 때, 상대적으로 300 mm 이상의 관거에서 기존 공법 대비 90% 수준의 경제성은 본 연구 개발 기술의 활용성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 국내 하수관거 보수 현황 및 국내 현황을 고려한 유리섬유 기반의 효율적·경제적인 보수 공법을 개발하여 그 성능을 분석하였다. 수행된 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

Fig. 11. Status of Sewer Line according to Diameter in Korea

- (1) 국내 161개 시·군 지역 중 20년 이상 하수관거 비율이 50% 이상인 지역은 50개로 전체 시·군의 약 31%로 나타났다. 특히, 국내 주요 도시로 구분 할 수 있는 서울특별시 및 광역시(세종특별자치 제외)의 비율은 47.8%~74.0 (평균 64.5%)이며, 이는 국내 시·군 중 상위 25% 수준으로 분석되었다. 또한 2018년 국내 약 46%의 시·군 지역에서는 하수관거 보수 시 부분 보수 공법을 적용한 것으로 나타났으며, 부분 보수가 이루어진 하수관거는 보수가 이루어진 연장의 약 1.1% 수준으로 나타났다. 이는 국내 하수관거 노후화 문제를 직접적으로 보여주는 것이라 할 수 있으며, 하수관거 보수·교체 사업 체계적 시행 및 부분 보수를 통해 효율적인 하수관거 보수 전략에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 유리섬유여재 기반의 하수관거 부분 보수 공법을 개발하였으며, 개발된 기술은 기존의 상용화된 하수관거 보수공법과 비교하여 안정성(인장강도, 외압강도, 굽힘강도 및 부착강도)을 확보한 것으로 나타났다. 또한 콘크리트 및 플라스틱에 적용할 경우에도 안정적인 외압강도 개선 효과를 보여, 본 개발 공법을 통해 하수관거의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 본 개발 공법과 유사한 기존 상용화 기술과 비교하여 경제성을 분석한 결과, 본 공법은 전반적으로 높은 경제성을 보였다. 특히, 300 mm 이상 관거에 대해 약 90% 수준(최대 900 mm, 74%)의 경제성을 보였으며, 이와 같은 결과는 본 연구 개발 기술의 경제적인 장점을 보여주는 것이라 할 수 있다.
- (4) 본 연구를 통해 개발된 하수관거 비굴착 보수공법은 전형적인 굴착식 보수공법과 비교하여 적용성, 경제성 및 효율성 등에서 우수한 것으로 판단된다. 하지만, 비굴착 보수공법에 대해 부분 보수 및 전체 보수 적용 여부에 대한 명확한 기준이 수립되지 않은 문제점이 존재하는 상황이다. 향후 추가적인 연구를 통해 비굴착 보수공법 적용 시 부분 및 전체 보수 적용 기준 수립에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 2019년도 재난안전분야 전문인력 양성사업의 연구비 지원 및 2019년도 광운대학교 교내학술 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- Cho, B.S. (2008). *A study on the performance evaluation of repair method system for durability performance design of deteriorated concrete structures*. Ph.D. dissertation, Chungnam National University.
- Chung, J.S., and Kang, W.D. (2012). An experimental study on evaluation of repair mortars with CAC (Calcium Aluminate Cement) for sewer pipe. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 27, No. 4, pp. 68-75. doi:10.14346/JKOSOS.2012.27.4.068
- Chung, Y.I., Park, W.J., and Choi, B.I. (2020). Technical standard analysis and optimal monitoring technology to prevent ground subsidence. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 1, pp. 307-317. doi:10.9798/KOSHAM.2020.20.1.307
- Kang, W.D. (2013). *A study on development of repair system for sewage structures using calcium aluminate cement (CAC)*. Ph.D. dissertation, Dong Yang University.
- Kim, C.S., and Kang, K.S. (2016). Causes and suggestions on administrative measures of subsidence (sink hole) in urban areas. *Journal of Korea Safety Management and Science*, Vol. 18, No. 4, pp. 1-9. doi:10.12812/ksms.2016.18.4.1
- Kim, S.J., and Jung, K.S. (2018a). Experimental study on influence of ground collapse due to ground water level lowering. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 19, No. 11, pp. 23-30. doi:10.14481/jkges.2018.19.11.23
- Kim, S.J., and Jung, K.S. (2018b). Influence ground sinking with variation of ground water level. *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 14, No. 4, pp. 399-408.
- Kwak, T.Y., Chung, C.K., Kim, J.Y., Lee, M.H., and Woo, S.I. (2019). Experimental assessment for the effect of burial depth on the formation of underground cavities and ground cave-ins by damaged sewer pipes. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 35, No. 11, pp. 37-49. doi:10.7843/kgs.2019.35.11.37
- Lee, D.Y. (2018). Analysis of sewer pipe defect and ground subsidence risk by using CCTV and GPR monitoring results. *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 47-55. doi:10.12814/jkgss.2018.17.3.047
- Ministry of Environment (ME). (2019). *2018 Sewer statistic*.
- Oh, D.W., Kong, S.M., Lee, D.Y., Yoo, Y.S., and Lee, Y.J. (2015). Effects of reinforced pseudo-plastic backfill on the behavior of ground around cavity developed due to sewer leakage. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 16, No. 12, pp. 13-22. doi:10.14481/jkges.2015.16.12.13
- Park, I.J., and Park, S.H. (2014). Sinkhole cause analysis and countermeasures. *Magazine of the Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 5, pp. 12-17.
- Park, J.H., Jeon, S.R., and Lee, K.H. (2015). Characterization of repairing polyurethane for trenchless sewer pipeline. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 5, pp. 3542-3547. doi:10.5762/KAIS.2015.16.5.3542
- Song, W.K. (2019). Status and prevention measures of ground subsidence in mine areas. *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, Vol. 56, No. 6, pp. 676-687. doi:10.32390/ksmer.2019.56.6.676

Received	July 3, 2020
Revised	July 6, 2020
Accepted	July 17, 2020