

도심지 지반함몰에 관한 예방정책 개선안 연구*

이석민** · 윤형미***

A Study for Improvement of Policy on Ground Subsidence Prevention in Urban Areas*

Suk Min Lee** · Hyung Mi Yoon***

요약 : 최근 도심지 내 지반함몰 발생건수가 증가함에 따라 시민의 안전이 우려되고 있으며, 이에 중앙정부 및 지자체는 지반함몰을 예방하기 위한 기술 개발 및 관련 정책을 제시하고 있다. 그러나 각 유관 기관 및 부서 사이의 협업체계가 미흡하고 관련 업무시스템이 불명확하여 업무의 사각지대가 발생할 가능성이 있다. 이 연구는 도심지 지반함몰 예방 및 피해의 최소화를 목적으로 국내·외 지반함몰 예방정책 사례분석을 실시하였다. 더불어 지반함몰 관련 실무진 인터뷰를 통해 의견을 수렴하고, 텍스트 마이닝 기법으로 여론동향을 분석하였다. 이를 통해 지반함몰 정책의 현황을 분석하고 시사점을 도출하였으며, 현존하는 구조적·기술적 중심의 정책을 기반으로 이를 아우를 수 있는 비구조적 정책을 수립하였다. 이 연구를 통해 지반함몰 예방정책의 실효성을 높이고, 실행력을 확보하여 예방정책을 강화할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : 도심지, 지반함몰, 지반재해, 예방, 정책

ABSTRACT : Recently, the increasing number of ground-subsidence problems in urban areas has caused citizens to worry about their own safety. Therefore, to prevent citizens from facing any such danger, the central and local governments have introduced policies on development of prevention technology and other related issues. However, given unsatisfactory cooperation between relevant organizations and government departments, and an unclear operational process, there could be blind spots in the midst of these processes. In this study, we analyzed the domestic and foreign policies for preventing ground subsidence in urban areas and for minimizing the damage caused by this phenomenon. Furthermore, we collected opinions by interviews with the working groups and analyzed the public opinion trends by data mining. As a result, we could analyze the status of policies on ground subsidence, assess their implications, and propose a non-structured policy that can embrace the present structural and technically oriented policies. Given this research, we estimate that policies for ground-subsidence prevention can become more effective and be reinforced by being better motivated.

Key Words : urban area, ground subsidence, ground disaster, prevention, policy

* 이 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(지반함몰 발생 및 피해저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·보강 기술개발, 15SCIP-B108153-01)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

** 서울연구원 도시정보센터 센터장(Director, Urban Data and Information Center, The Seoul Institute)

*** 서울연구원 안전환경연구실 연구원(Researcher, Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute),
교신저자(E-mail: yoon@si.re.kr Tel: 02-2149-1226)

I. 서론

최근 5년간 우리나라의 지반함몰 발생건수는 2011년 573건에서 2015년 1,035건으로 증가하고 있으며, 이 중 약 88%가 서울시에서 발생하고 있어 시민의 안전이 우려되고 있다. 도심지에서 발생하는 지반함몰의 주원인은 상·하수도 등 지하 매설물 손상이 78%로 압도적으로 높게 나타나고 있으며, 이 외 굴착복구 미흡, 공사장 지하수 유출 등이 있다. 이는 자연 현상으로 발생하는 싱크홀과는 달리 도시를 형성하고 유지하는 인위적 행위에 의해 발생하는 것으로, 지반함몰 예방책을 마련하여 발생횟수를 낮출 수 있다.

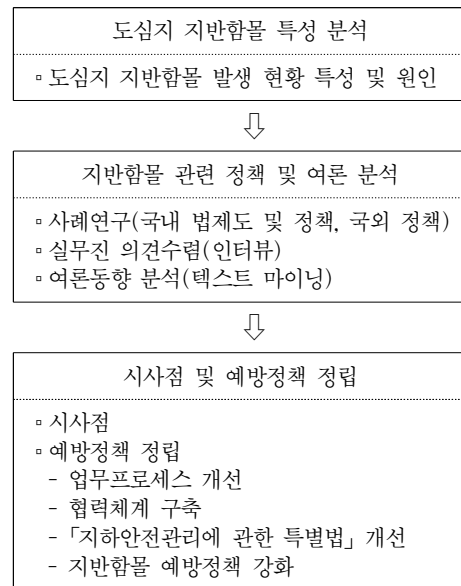
중앙정부 및 지자체에서는 지반함몰과 관련한 기술개발 및 사업, 관련법규 등 제도를 정비하고 있다. 그러나 현재는 상·하수관 보수보강, 되메우기, 다짐도 측정 등 구조적·기술적 정책이 주를 이루고 있으며, 관리계획 수립, 안전점검, 공동 및 지반탐사 등 지반함몰을 관리하는 정책은 각 유관기관의 업무영역이 중복되거나 불명확하여 업무의 사각지대가 발생할 가능성이 있다. 또한 2016년 1월에 제정된 「지하안전관리에 관한 특별법」이 2018년 시행될 예정이므로 특별법의 실효성을 확보하고, 이를 지원하는 정책 개발이 요구되고 있다.

이에 따라 현행 지반함몰 관련 정책을 기반으로 도심지 특성을 고려한 실효성 및 실행력 있는 정책 개선안을 제시하는 것이 이 연구의 목적이다.

이를 위해 국내 지반함몰 관련 법규와 국토교통부, 환경부, 지자체의 정책을 검토하고 일본, 미국, 싱가포르, 중국의 정책사례를 검토하였다. 또한 지반함몰 발생건수가 가장 많은 서울시의 지반함몰 유관부서 실무진을 대상으로 인터뷰를 실시

하여 의견을 수렴하였다. 마지막으로 여론동향을 분석하기 위해 텍스트 마이닝 기법 중 버즈랑 기초통계 분석, 의미연결망 분석, 감성분석을 실시하였다.

이 연구는 사례연구와 전문가 의견수렴 및 여론동향 분석으로 현재 정책의 시사점 및 개선방안을 도출하고, 비구조적 중심의 지반함몰 예방정책을 제시한다. 전체적인 연구절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구절차

II. 도심지 지반함몰 특성

1. 관련용어 정의

지반함몰은 형태에 따라 지반함몰, 지반침하, 공동, 포트홀, 싱크홀 등으로 나뉜다. 지반함몰이란 지표면이 수직방향으로 꺼지는 현상을 말하며, 지반침하는 지반이 가라앉는 현상을 말한다. 공동은 지반 내부에 생긴 빈 공간을 말하며, 포트홀은 포장도로에 우수가 유입되어 마모 또는 침식되어 깨

〈표 1〉 지반함몰 관련 용어 정의

지반함몰		지반침하	
			
지표면이 여러 요인에 의해 수직방향으로 꺼지는 현상		자연적 연약지반 또는 인위적으로 형성된 지반이 가라앉는 현상	
공동	포트홀(Pothole)	싱크홀(Sinkhole)	
			
지반 내부에 생긴 빈 공간	포장도로에 우수가 유입되어 포장이 마모 또는 침식되어 패이거나 깨지는 현상	석회암, 화산 재질 지반에서 하부 지반이 유실되어 자연적으로 지반이 붕괴되는 현상	

사진자료: 서울특별시, 2016, 「서울시 도로함몰 예방대책 추진현황」

진 현상을 말한다. 마지막으로 싱크홀은 석회암, 화산 재질 지반에서 하부 지반이 유실되어 자연적으로 붕괴되는 현상을 말하며 우리나라 도심지에서는 발생하지 않는다. 서울시는 함몰이나 침하가 주로 도로에 발생함에 따라 도로함몰과 도로침하라는 용어를 사용하고 있다.

2. 도심지 지반함몰 발생 현황 및 특성

〈표 2〉에 나타난 것처럼 최근 5년간 지반함몰은 전국 평균 약 800건이 발생하였다(2015년 기준). 지역별로 서울시가 전체 발생건수의 약 90%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 경기도, 광주시 등이 뒤를 이었다. 2016년 1~6월까지 집계된 지반함몰 발생건수는 총 312건(국토교통부, 2016)으로, 2015년 발생건수 1,035건에 비해 대폭 감소하였다. 특히 서울시는 노면하부 공동탐사로 지반함몰에 선제 대응하여 발생 건수가 감소한 것으로 추정한다. 그러나 이러한 통계자료는 취합기준 및

과정 등이 불명확하여 신뢰성이 다소 미흡한 것으로 판단된다.

도심지 지반함몰의 발생 현황을 살펴보기 위해 도시화율이 가장 높으며, 지반함몰 발생건수가 가장 많은 서울시를 대표로 선정하였다. 최연우 외(2016)에 의하면 서울시의 지반함몰은 대부분 도로에서 발생하였으며, 최근 4년간 계절별 발생빈도는 여름(40%), 봄(28%), 가을(23%), 겨울(9%) 순으로 나타났다. 우기에 지표수 및 지하수가 증가하면 아스팔트 연약에 영향을 미치고, 이로 인해 지반함몰이 발생함을 알 수 있다. 또한 지반함몰의 크기는 2m×2m 미만의 소규모가 약 97%를 차지하였다.

3. 도심지 지반함몰 발생원인

도심지 지반함몰의 주요원인은 ① 상·하수도 등 지하시설물 손상, ② 굴착복구 미흡, ③ 공사장 지하수 유출로 나타낼 수 있다.

〈표 2〉 도심지 지반함몰 발생 현황

시도별	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	계
합 계	573	723	898	858	1,035	4,087
서울시	572	691	850	779	733	3,625
부산시	1	5	-	11	11	28
대구시	-	-	-	5	7	12
인천시	-	1	-	3	7	11
광주시	-	17	37	19	11	84
대전시	-	-	-	-	12	12
울산시	-	1	1	5	21	28
세종시	-	-	-	1	3	4
경기도	-	4	6	15	122	147
강원도	-	-	-	-	27	27
충청북도	-	-	-	2	13	15
충청남도	-	-	1	3	7	11
전라북도	-	4	-	2	7	13
전라남도	-	-	1	2	14	17
경상북도	-	-	-	3	6	9
경상남도	-	-	2	8	26	36
제주도	-	-	-	-	8	8

자료: 국토교통위원회, 2015, 「지하안전관리에 관한 특별법」 검토보고서

지하시설물의 손상은 특히 하수관로의 노후화로 인해 관의 연결부 등이 손상되며, 손상부분을 통해 토사가 유실되어 지반함몰이 발생한다. 하수관 손상은 전체 지반함몰 발생원인 중 약 79%를 차지하고 있어 이에 대한 대책이 시급하고 중요한 것을 알 수 있다.

지하굴착 시 되메우기가 제대로 이루어지지 않을 경우 지하에 빈 공간이 형성이 되며, 이 공간을 통해 토사가 유출되어 지반함몰이 발생하게 된다. 또한 지하수위까지 굴착이 이루어지는 공사장에 차수대책이 미흡하면 지하수가 토류벽 틈새를 통해 유입되면서 토사가 함께 유실되어 지반함몰이 발생한다.

하수관 손상과 더불어 지하굴착공사가 이루어지는 공사장으로 인해 지반함몰이 발생함을 알 수

있으며, 이에 따른 대책이 필요하다.

Ⅲ. 지반함몰 관련 정책 및 여론 분석

1. 관련법

지반함몰 관련 법제도는 「지하안전관리에 관한 특별법」이 있으며, 이 외 「환경영향평가법», 「자연재해대책법», 「지하수법」이 일부 관련이 있다.

「지하안전관리에 관한 특별법」은 크게 계획, 평가, 관리시스템에 관한 내용으로 구성되어 있다.

지하안전관리 기본계획은 국토교통부에서 5년마다 수립·시행하는 국가지하안전관리 기본계획, 관계 중앙행정기관의 장이 수립·시행하는 연도별 집행계획, 시·도지사 및 시장·군수·구청장이 수

〈표 3〉 「지하안전관리에 관한 특별법」의 주요 체계

계획	평가		관리시스템
지하안전관리 기본계획	지하개발의 안전관리	지하시설물 및 주변 지반의 안전관리	지하정보통합체계
연도별 집행계획	지하안전영향평가	안전점검	지하정보
	소규모 지하안전영향평가	지반침하 위험도평가	
지하안전관리계획	사후지하안전영향조사	지반침하 중점관리 시설 및 지역	지하공간통합지도

립·시행하는 시·도 지하안전관리계획으로 이루어져 있다. 지하안전영향평가는 터파기 깊이 20m를 기준으로 지하안전영향평가와 소규모 지하안전영향평가로 나뉜다. 터파기 깊이 20m 이상 굴착공사를 실시한 사업은 지하안전영향평가를 실행하며, 착공 후 사후지하안전영향조사를 실행해야 한다. 터파기 깊이 10m 이상, 20m 미만의 굴착공사를 실행

시킨 사업은 소규모 지하안전영향평가를 실행해야 하며, 소규모 지하안전영향평가에 대한 사후지하안전영향조사는 실행하지 않는다. 지하시설물관리자는 소관 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 육안조사 1회/1년과 지표레이더탐사 1회/5년으로 안전점검을 실행해야 한다. 지반침하위험도평가는 긴급복구공사를 완료한 경우, 안전점검을 실시한 결

〈표 4〉 지하안전영향평가, 환경영향평가, 사전재해영향성검토의 평가항목 비교

지하안전영향평가 ¹⁾		환경영향평가 ²⁾		사전재해영향성검토 ³⁾	
주요 평가항목	주요 평가방법	주요 평가항목	주요 평가방법	주요 평가항목	주요 평가방법
지형 및 지질 현황	가. 지하정보통합체계를 통한 정보 분석 나. 시추조사 다. 투수시험 라. 지하물리탐사 (지표레이더탐사, 전기비저항탐사)	지형·지질	- 지질현황 조사 - 지질재해 - 지하지반현황 및 지하 구조물 현황 - 과거 지반침하 현황	지형 및 지질조사	- 토지이용현황 및 계획 - 표고 및 경사 분포 - 지질특성 및 토질특성 (시추조사, 지반조사, 지하수위 조사)
지하수 변화에 의한 영향	가. 관측망을 통한 지하수 조사(흐름방향 유출량 등) 나. 광역 지하수 흐름 분석	수리·수문	- 지하수 영향예측 - 지하수 환경변화		
지반 안전성	가. 굴착공사에 따른 지반안전성 영향분석 나. 주변 지하시설물 안전성 분석	지형·지질	- 지반안전성 검토 - 재해안전성 검토 - 환경영향조사계획 수립 - 지형변화지수 산정	재해영향 예측 및 평가	- 예상 재해유형별 검토의 범위 및 방향설정(지반재해 이력 조사 및 원인 분석, 지반재해 위험 평가, 대책 수립 여부 조사 등)

자료 1: 국토교통부, 2016, 「지하안전관리에 관한 특별법 시행령 제정법령안」, www.molit.go.kr

자료 2: 환경영향평가법 시행령(대통령령 제27675호) [별표 6]

한국환경정책평가연구원, 2015, 「환경영향평가서 검토 및 작성 매뉴얼:지형·지질」

자료 3: 국민안전처, 2016, 「사전재해영향성검토협의 실무지침」

과 지반침하의 우려가 인정되는 경우, 지반침하위험도평가의 실시명령을 받은 경우 중 하나에 해당하는 경우 지하시설물 관리자가 실행해야 한다. 이때 지반침하의 위험이 확인되면 지반침하 중점관리 시설 및 지역으로 지정하여 관리한다. 지하정보를 효율적으로 관리하고 활용하기 위한 지하정보통합체계는 지하정보와 지하공간통합지도로 구성된다. 지하공간통합지도에는 지하시설물정보, 지하구조물정보, 지반정보 및 지반침하 방지대책 등에 필요한 사항의 조사와 분석에 관한 사항을 포함한다.

「지하안전관리에 관한 특별법」의 지하안전영향평가, 「환경영향평가법」의 환경영향평가, 「자연재해대책법」의 사전재해영향검토는 평가 및 검토대상 사업과 지형·지질, 지반조사, 지하수 위조사, 지반재해 예측 등 평가 및 검토항목이 일부 중복된다. 또한 「지하수법」 제9조의4에 따라 지하수 조사, 지하수 영향조사, 지하수에 영향을 미치는 행위 등을 위하여 토지 굴착 시 시

장·군수·구청장에게 신고하여야 한다. 이처럼 현재 시행되고 있는 법과 「지하안전관리에 관한 특별법」의 내용이 일부 중복되어 중복규제 문제가 발생할 우려가 있으며, 지하안전영향평가는 환경영향평가 및 사전재해영향성검토와 평가항목이 일부 중복되어 효율성 측면에서 고려해야 할 필요성이 시사된다.

또한 특별법 시행에 앞서 지하안전관리계획 수립, 지하안전영향평가 실시, 안전점검 실시 등 지자체에서 수행하여야 할 업무는 업무수행 지침이나 매뉴얼을 만들어 특별법의 실행력을 확보해야 한다.

2. 국내 정책

2014년부터 국토교통부에서는 지하공간 통합지도 구축, 지하개발 사전안전성 분석, 선제적 모니터링 및 관리, 「지하안전관리에 관한 특별법」 제정에 관한 정책을 제시하였다. 2016년 「지하안

〈표 5〉 국내 지반함몰 관련 대책

구분	내용		
국토교통부	지반침하 예방대책 (2014~)	지하공간통합지도	- 지하시설물정보, 지하구조물정보, 지반정보 연계
		지하개발 사전안전성 분석	- 특별법 내 지하안전영향평가 제도로 의무화
		지반침하 취약지역 안전관리계획	- 특별법 내 지하안전관리계획으로 시행
환경부	GPR, 내시경 및 시추공 조사를 활용한 노후 하수관로 정밀조사(2014~)		- 2016년부터 정비사업 본격 추진 - 지반침하대응 하수관로 정비조사 매뉴얼 배포
서울특별시	도로함몰 특별관리 대책 (2014~)	노후 하수관로 관리	- 노후 하수관로 종합관리계획 시행
		지하수 관리	- 대항 굴착공사 시 지하수 영향조사 의무화, 기존 대규모 공사장 및 주변 관리 강화, 유출지하수량 많은 시설물 관리 강화, 지하수 보조관측망 추가 설치
		굴착공사장 안전관리시스템	- 굴토심의제도 의무화, 다짐도 측정, 지하매설물 굴착공사 관리, 완공된 시설물 주변 지반 조사
		도로함몰 취약구간 안전관리	- 공동탐사, 도로함몰 관리시스템 구축
		민관협력을 통한 안전활동	- 도로함몰 신고제, 굴착공사장 불시점검

전관리에 관한 특별법」 제정을 통해 기존 예방정책을 비롯하여 지하안전관리 기본계획 및 관리계획의 수립, 지하안전영향평가 및 소규모지하안전영향평가, 안전점검, 지반침하 위험도평가 등의 실시, 지하정보통합체계 및 지하안전관리체계 구축에 관한 제도를 구축하였다. 또한 ‘지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼’을 작성하여 3D지하공간 통합지도 구축 및 관리, 지자체 안전관리방안, 지하공간 개발행위 안전관리 강화에 관한 사항을 제시하였다. 또한 기존 ‘건설공사 안전관리 업무 매뉴얼’을 통해 지반조사, 굴착공사의 안전 확보, 계측기 설치 및 관리, 안전성 검토 등에 관한 사항을 다루고 있다.

환경부에서는 지반함몰의 원인 중 가장 높은 비율을 차지하고 있는 하수관 손상에 관한 대책으로 ‘노후 하수관로 정밀조사 매뉴얼’을 작성하였다. 매뉴얼을 통해 노후 하수관로의 조사 및 보수·보강, 유지관리 등에 관한 제도를 수립하고 시행 중이다.

지자체의 대표적인 예로 서울시 예방정책을 살펴보면, 서울시는 ‘도로함몰 특별관리대책’을 수립하여 원인별 대책으로 노후 하수관 관리 강화, 굴착공사장 관리 강화, 지하수관리 강화 등을 마련했다. 또한 사전 탐지활동 강화, 전담조직 강화 및 전문인력 양성, 도로함몰 지도구축 등의 세부 대책을 마련하였다. 더불어 서울시는 서울특별시 지하수관리계획을 통해 지하굴착 시 유출지하수와 지반침하를 관리하기 위한 계획을 제시하였다.

3. 국외 사례

일본 도쿄는 「국토강인화기본법」에서 도로면 하부의 공동조사를 의무화하였으며, 「설드공사 점용허가 조건과 해설(안)」 지침을 통해 공사 전·중·후 침하관리 및 공동조사 방법을 정의하고 있다. 더불어 도로함몰 관련한 원인 조사 및 공동조사의 내용과 방법, 그리고 이를 기반으로 위험도 평가를 실시하여 보수의 우선순위를 선정하

〈표 6〉 국외 지반함몰 관련 대책

구분	내용
일본	- 「국토강인화 기본법」에 의해 도로 내 주기적인 공동조사 실시 - 탐사장비(GPR)로 동공 탐사, 지반함몰 조사 및 평가, 보수에 관한 메커니즘 및 방법 구축 - 「설드공사 점용허가 조건과 해설(안)」을 통해 공사 전, 중, 후 및 경과 관찰기간에 지표면 침하 관리, 공동조사 방법 제시
미국	- 싱크홀 분석지도 작성, 건축기준 및 시공방법 등급기준 마련 - 레이더 자료를 이용한 싱크홀 예측기술 연구개발 및 범용화 추진 - 보험업 시작 시 싱크홀 관련 보험 상품 의무 가입
싱가포르	- 정기점검을 통한 도로함몰 관리 및 24시간 신고접수 창구 운영으로 24시간 이내 보수체계 구축 - 지반정보 DB구축 및 대규모 지하 공사 전 지반조사 및 공법의 적절성 검토 - 「지하철 공사를 위한 지반 굴착 시 지하수 관련 지침」을 통해 지하수 관리 시스템 구축, 지하수위 영향 검토, 회복 및 함양시스템 구축, 향후 비상관리방안 제시
중국	- 「지질재해방지조례」, 「상하이 지반침하 예방 및 관리 방법」을 근거로 지반침하 모니터링으로 지반침하관측, 토양층별침하관측, 지하수위관측 등 방법 제시

는 연구가 진행 중이다(서울연구원, 2016).

미국 플로리다는 싱크홀 분석지도를 작성하고, 건축기준 및 시공방법 등급 기준을 마련하여 운영하고 있다. 또한 레이더 자료를 활용하여 싱크홀 예측기술에 관한 연구를 개발하고 있으며, 싱크홀 관련 보험 상품의 가입을 의무화하여 운영 중이다(서울시, 2014).

싱가포르의 경우 LTA(Land Transportation Authority)에서 주기적으로 도로함몰을 점검하고, 24시간 신고접수 창구 운영 및 24시간 이내 보수 체계를 구축하고 있으며, 도로유지관리를 위한 웹사이트를 운영하고 있다. 또한 BCA(Building and Construction Authority)에서는 지하 지질도를 위해 지반정보 DB를 구축하고 있으며, 지하공사 전 지반조사와 공법에 대한 적절성 검토를 통해 도로함몰 발생을 최소화하고 있다. 이 외 지하철 공사를 위한 지반 굴착 시 지하수 관련 지침을 통해 설계와 공사시행에 앞서 지하수관리 시스템 구축, 지하수위 영향검토, 회복 및 함양 시스템 구축, 향후 관리방안에 대한 사항을 제시하고 있다(서울시, 2014).

중국 상하이시는 지반침하의 원인을 지하수위강화로 분석하고, 대수층에 인공하수를 주입하거나 지하수 이용을 자제하는 대책을 펴 지하수위를 복원한다. 또한 「지질재해방지조례」 및 ‘지반침하 예방 및 관리 방법’을 통해 지반침하 및 지하수위 관측의 항목 및 빈도를 제시하였다(서울시, 2015).

국외사례 검토를 통하여 공동조사의 제도화, 지반함몰 평가방안, 굴착공사 시 침하관리 시기의 확장, 보험제도, 지반침하 위험지도, 지하수관리 시스템에 관한 제도의 필요성 및 국내 도입의 가능성을 고려할 수 있다.

4. 담당실무진 인터뷰

지반함몰 관리의 현황과 향후계획 및 의견을 수집하여 지반함몰 예방정책의 실태를 조사하기 위해 지반함몰 관리 담당실무진의 인터뷰를 실시하였다. 담당실무진은 지반함몰이 다수 발생하고 있는 서울시를 대상으로 도로관리과, 건축기획과, 물재생계획과, 도시기반시설본부 등 4개의 유관부서와 인터뷰를 진행하였다.

서울시는 지반함몰이라는 용어 대신 발생특성을 반영하여 도로함몰이라는 용어를 사용하고 있으며, 도로관리과에서 도로함몰을 총괄 관리하고 있다. 도로관리과는 진행 중인 공동탐사와 예산을 확대하여 운영하고 있으며, 도로관리시스템, 버스·택시 기사 모니터링, 도로 및 도로시설물 배상 책임보험제도 등을 운영하고 있다. 또한 위험성평가를 통한 도로함몰 예측분석 시스템을 개발 중에 있으며, 향후 도로함몰 원인에 따른 예방시공법 및 예방지침, 실무진 관리 감독 방안 연구를 계획하고 있다. 그러나 예산 확대에도 불구하고 주기적 공동탐사를 위한 예산 및 제도와 지반함몰 관리를 위한 부서별 업무개선이 필요하다고 하였다. 법제도 측면에서는 도로함몰 관리의 주체를 도로관리청까지 확대하는 방안과 도로함몰 예방 시공법 및 지침·규칙 개발과 이에 따른 처벌조항 신설의 필요성을 제기하였다.

물재생계획과는 하수도관리시스템을 운영하고 있으며, 도로함몰에 대응해 하수관로를 조사 및 정비하고 있다. 더불어 향후 서울시 하수도정비기본계획에 노후 하수관로 정비에 관한 내용을 추가할 예정이다. 그러나 노후 하수관 및 공동의 선제 발견이 어려우며, 지하개발 시 하수관에 대한 영향검토와 하수도 설계지침 및 매뉴얼의 필요성을 제기

〈표 7〉 지반함몰 관리 담당부서 인터뷰 결과

부서	현황	향후 계획	의견
서울시 도로관리과	- 서울시 지반함몰 총괄 관리 - 공동탐사 범위 및 예산확대, 도로관리시스템 운영, 버스·택시 기사 모니터링, 도로 및 도로시설물 배상책임보험제도 운영 - 위험성평가를 통한 도로함몰 예측분석 시스템 개발	- 도로관리시스템 통합·확대 운영 - 지하공동 조사계획 확대 - 도로함몰 원인에 따른 예방시공법 및 예방지침, 실무진 관리감독 방안 연구	- 주기적 공동탐사를 위한 예산 및 제도 마련 - 지반함몰 관리를 위한 부서별 업무개선 필요 - 도로에 발생한 함몰은 도로관리청에서 관리, 도로 외에서 발생한 함몰은 시·군·구에서 관리 - 도로함몰 예방 시공법 및 지침·규칙 개발과 이에 따른 처벌조항 필요, 현재는 점검 밖에 없음.
서울시 물재생 계획과	- 하수도관리시스템(하수도량, 하수도 공사 위치, 도로함몰 정보) 운영 - 도로함몰에 대응한 하수관로 조사 및 정비매뉴얼 - 노후하수관 및 공동의 선제적 발견 어려움	- 서울시 하수도정비기본계획에 노후 하수관로 정비에 관한 내용 추가 및 시행	- 지하개발 시 하수관에 대한 영향검토 필요 - 하수도 설계지침 및 매뉴얼 개선 - 타 부서와 정보공유 및 관리체계 필요
서울시 건축기획과	- 굴착심의 운영 - 공사장 사고는 외벽, 축대·담장 등 붕괴 사고가 주로 나타나며, 주요 원인은 시공부실 - 작은 규모에서 다수 발생 - 건설공사 시 안전사고 통계 취합	- 공사장에 대한 안전점검 및 관리 강화 - 건축물 붕괴 방지 개선을 위한 제도 강화	- 공사장 주변지역 관리구역의 지정 운영 고려 - 건축재난안전보험제도 운영
서울시 도시기반 시설본부	- 대규모 토목사업 시 지반 변형 예측 실행 - 서울시에서 굴토심의는 건축부분에 한정되어 있음. - 대규모 토목사업 설계 시 지하수는 고려하지 않음.	- 대규모 토목공사에 대한 안전 점검 강화	- 공사설계 시 지하수 조사 및 분석이 수반될 수 있도록 법적 도적 강제화 방안 필요 - 건설공사지침, 지하철공사지침, 토목공사지침 등에 명시 - 지반취약지역에 설계규정 강화 필요

하였다. 또한 다른 부서와의 정보공유 및 관리체계의 필요성을 제기하였다.

건축기획과에서는 굴착심의를 운영하고 있으며, 공사장 안전점검 및 관리를 점진적으로 강화하고 있다. 공사장 주변지역을 관리구역으로 지정하여 운영하는 방안과 건축재난안전보험제도 운영의 필요성을 제기하였다.

도시기반시설본부는 대규모 토목사업 시 지반

변형 예측을 실행하고 있으며, 대규모 토목공사에 대한 안전점검을 강화할 예정이다. 그러나 서울시 굴토심의는 건축부분에 한정되어 있고, 대규모 토목사업 설계 시 지하수는 고려하지 않고 있어 공사설계 시 지하수 조사 및 분석이 수반될 수 있도록 강제화할 필요가 있으며 이는 건설공사지침, 지하철공사지침, 토목공사지침 등에 명시할 수 있다. 또한 지반취약지역에 설계규정을 강화할 필요성이

있다.

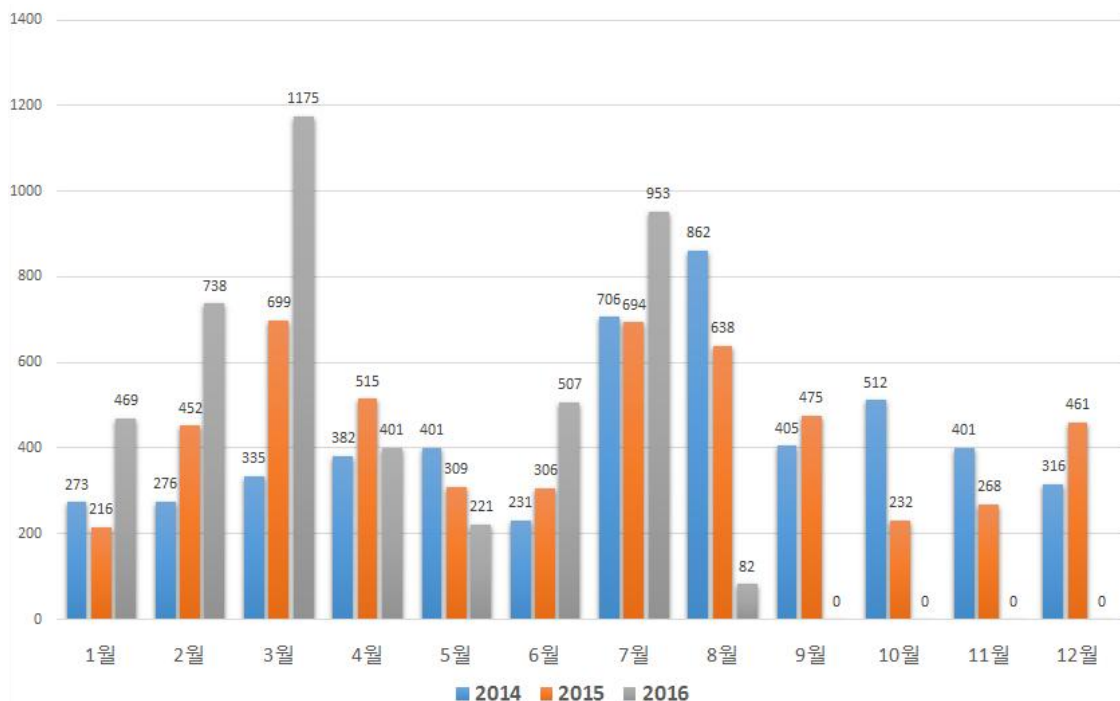
서울시의 지반함몰 관리 담당실무진 인터뷰 결과 현재 공동탐사 및 모니터링, 하수도관리시스템 운영, 굴착심의, 지반변형계측 등을 운영하고 있으나, 예산 확보의 어려움, 유관부서 업무분장 명확화 및 정보공유의 필요성, 관리를 위한 지침 및 규정의 강화, 지하수 조사 및 분석이 향후 정책의 필요사항으로 나타났다.

5. 텍스트 마이닝을 통한 여론 분석

SNS는 사건, 인물, 사회적 현상 등에 대하여 개인이나 공공이 어떠한 것에 구애받지 않고 의견이나 생각을 제시하는 공간으로 이슈에 대한 여론을 즉각적으로 파악할 수 있는 수단으로 활용 가능하다. 지반함몰에 관한 여론을 파악하기 위해 텍스

트 마이닝 기법을 활용하여 지반함몰의 언급량을 볼 수 있는 버즈량 기초통계 분석과 지반함몰과 이에 대한 연관어를 살펴볼 수 있는 의미연결망 분석, 그리고 지반함몰에 관한 동향과 여론을 살펴볼 수 있는 감성분석을 실시하였다. 조사한 여론은 정책 수립에 반영해 실질적이고 다수가 공감할 수 있는 정책을 수립할 수 있다.

이 연구는 온라인 미디어 분석 서비스인 '펄스K(pulseK)'를 이용하여 텍스트 마이닝을 실시하였다. 펄스K의 분석 채널은 트위터, 블로그, 뉴스이며, 뉴스는 조선일보, 중앙일보, 동아일보를 제외한 약 70개의 언론사를 대상으로 한다. 시간적 범위는 본격적으로 지반함몰이 대두되었던 석촌 지하철도 공동 발생 시점인 2014년 1월부터 분석 날인 2016년 8월 25일까지로 하였다. 기본조건으로 지반함몰을 대표 키워드로 설정하였으며, 도로



〈그림 2〉 연도별 총 언급량

<표 8> 텍스트 마이닝 분석 결과

구분	이슈어 및 감성어(건수)									
공적영역 이슈어 (2016년 2월~8월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	현장 (224)	관계자 (220)	해빙기 (194)	서울시 (185)	방침 (169)	안전점검 (155)	결과 (154)	정비 (133)	우려 (128)	관리 (122)
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	안전사고 (121)	붕괴 (114)	발생 (102)	조사 (95)	운전자 (95)	예방 (94)	안전관리 (93)	노후 하수관 (92)	예산 (89)	동공 (87)
사적영역 이슈어 (2016년 2월~8월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	해빙기 (829)	경기도 성남시 (710)	현장 (445)	서울시 (433)	롯데월 드타워 (396)	결과 (377)	도로상태 (341)	관계자 (339)	정비 (310)	안전도로 (293)
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	안전점검 (293)	관리 (286)	우려 (275)	발생 (264)	노후 하수관 (241)	붕괴 (240)	안전사고 (240)	방침 (232)	조사 (209)	안전관리 (198)
감성어 (2016년 2월~8월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	위험 (1,454)	안전 (1,394)	좋다 (992)	불편 (886)	우려 (657)	최선 (639)	정확 (624)	불안 (616)	심하다 (578)	신속 (531)
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	심각 (530)	문제다 (5001)	부족 (484)	위험 (447)	손상 (437)	기대 (400)	미치다 (396)	최고 (390)	불량 (383)	우수 (373)

함몰, 지반침하, 싱크홀, 포트홀을 동의어로 설정하였다. 또한 엔진오일, 귀농인, 교복 등을 비롯한 총 83개의 단어를 제외어로 설정하여 텍스트 마이닝을 실시하였다.

텍스트 마이닝 결과 총 언급량은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 해빙기인 3월과 우기인 7, 8월에 급증하는 것을 알 수 있었으며, 이는 지반함몰의 발생빈도 현황과 연관 지어 설명할 수 있다. 실제로 3월 총 언급량 중 해빙기와 관련된 언급량은 약 33%를 차지하고 있었으며, 7, 8월 총 언급량 중 폭우, 우기 등과 관련된 언급량은 약 8%를 차지하였다.

또한 2014년 8월 석촌 지하차도 공동발생 이후 공적 영역을 대표할 수 있는 뉴스에서는 해빙기인

3월에 언급량이 상대적으로 많았으며, 트위터, 블로그 등 사적 영역에서는 우기인 7, 8월에 언급량이 많았다.

주요 이슈어로는 ‘서울시’, ‘해빙기’, ‘관리’, ‘지하수’, ‘안전점검’ 등으로 나타났다으며, 이 외 ‘시스템’, ‘조사’, ‘예산’, ‘방침’, ‘공사장’, ‘하수관로’, ‘책임’ 등이 언급되었다. 특히, 2016년 사적영역에서 ‘안전점검’, ‘노후하수관’, ‘안전관리’, ‘예방(21위)’이 새롭게 언급되었고, 공적영역에서는 ‘동공’, ‘예방’, ‘노후하수관’, ‘정비’, ‘방침’이 새롭게 언급되었다. 예방에서는 다시 안전관리, 예산, 정책설명회, 방침 등이 연관 이슈어로 추출되었으며, 안전점검 및 관리에서는 예방, 취약지역, 관리, 평가 등이 연관 이슈어로 추출되었다. 노후하수관에서는 조사,

정비, 인근도로, 예산 등이 연관 이슈어로 추출되었으며, 방침에서는 안전점검, 동공, 정비, 시스템 등이 연관 이슈어로 추출되었다. 마지막으로 동공에서는 주요간선도로, 서울시, 현장점검 등이 연관 이슈어로 추출되었다. 이를 통해 노후하수관, 안전점검 및 관리, 방침, 예방이 최근 주요현안이 되고 있음을 알 수 있다.

주로 언급된 감성어는 '위험', '안전', '불안', '우려' 등이며, 이 외 '신속', '부실' 등이 언급되어 신속한 대응체계 및 공사장·하수관로 부실 등이 주요한 이슈로 다뤄짐을 알 수 있다. 그러나 2014년부터 현재까지 부정의 언급은 점차 줄어들고 있는 추세로 지반함몰 관련 정책이 많이 진행됨에 따라 지반함몰 우려가 감소되고 있음을 알 수 있다.

IV. 시사점 및 예방정책 정립

1. 시사점

이 연구는 도심지 지반함몰 예방정책 개선안 마련을 위해 도심지 지반함몰 원인과 관련법안 및 지반함몰에 관한 국내·외 정책을 살펴보았다. 또한 실무진 의견수렴을 통해 실제 정책운영에 대해 살펴보았으며, 텍스트 마이닝을 통해 여론분석을 실시하였다.

도심지 지반함몰의 주원인은 하수관 손상과 지하굴착공사 시 되메우기 미흡 및 지하수 유출 등이 있다. 이에 따라 노후 하수관 조사를 주로 실시하고 있으며, 지하굴착공사 시 공사장 점검 및 굴토심의 등의 운영을 통해 지반함몰 발생을 예방하고 있다. 노후 하수관 조사는 조사 매뉴얼과 함께 비교적 잘 운영되고 있으나, 공사장 유출지하수 관리에 관한 제도가 미비한 실정으로 이에 대한

개선이 필요하다.

지반함몰 관리를 위해 신설된 법제도인 「지하안전관리에 관한 특별법」에서는 지반함몰 예방을 위한 제도의 일환으로 지하안전영향평가를 제시하고 있다. 하지만 지하안전영향평가 항목은 「환경영향평가법」의 환경영향평가와 「자연재해대책법」의 사전재해영향검토 항목과 일부 중복되어 제도 실행의 효율성을 위해 평가 및 검토 항목의 통폐합을 고려할 필요가 있다. 또한 「지하안전관리에 관한 특별법」에서 제시하고 있는 지하안전관리계획, 지하안전영향평가, 위험도평가 등은 관련 업무를 수행해야 하는 지자체를 대상으로 업무 프로세스 정립과 지침 및 매뉴얼이 필요할 것으로 판단된다. 또한 지반함몰을 예측할 수 있고 평가할 수 있는 취약성 평가, 위험지도, 관측망이 부재되어 이에 대한 신설이 필요할 것으로 생각된다.

현재 운영되고 있는 국내·외 예방정책 검토를 통해 공동조사 제도의 의무화, 굴착공사 시 침하 관리 시기의 확장, 지반침하 위험지도의 작성, 지하수관리시스템의 확대운영 등의 가능성을 살펴 보았다. 특히 공동조사의 의무화는 실무진 인터뷰에서도 제시한 의견으로 현재 운영 중인 공동조사 제도를 의무화하고, 더불어 조사와 관련한 기초자료 수집 방법을 통일하여 일괄적으로 수집하고 분석의 필요성을 제시하였다. 이 외 실무진 의견으로 공동조사와 노후하수관로 조사의 예산 확보와 굴착공사 관련 지침 강화 및 지하수 조사와 분석의 필요성을 제시하였다. 특히 지반함몰 유관부서 간 업무개선과 정보공유 및 관리체계 개선을 통해 업무 효율성 증진의 필요성을 제시하였다.

여론동향 분석 결과 노후하수관, 예방, 안전관리 등이 최근 이슈어로 언급되고 있으며, 노후하수관의 연관 이슈어로는 조사, 정비, 예산 등이 있

으며, 예방에 관한 연관 이슈어는 예산확보가 주로 이루어졌으며, 안전관리는 점검, 평가, 방침 등이 있어 이는 실무진 의견과 더불어 지반함몰 예방을 위한예산확보, 안전점검 및 평가 방침 수립, 노후 하수관 조사 및 정비 강화 등의 개선이 필요한 것을 알 수 있다.

이와 같은 시사점을 통해 이 연구는 도심지 지반함몰 예방정책 개선을 위한 방안으로 업무프로세스 개선, 협력체계 구축, 「지하안전관리에 관한 특별법」 개선, 지반함몰 예방정책 강화를 제시한다.

2. 예방정책 정립

1) 업무프로세스 개선

지반함몰 발생통계를 통해 타 지자체보다 서울시에 지반함몰이 많이 발생하는 것을 알 수 있었으나, 통계집계 과정을 검증할 수 없었으며 이에 대한 개선이 필요한 것으로 판단된다. 이는 「지하안전관리에 관한 특별법」 내 지반함몰 발생의 기준정립, 자료수집 및 DB구축, 정보시스템 구축 등의 업무 프로세스와 더불어 특별법 시행에 따른 유관기관 및 부서 간 업무 프로세스에 관한 사항이 제시되어야 한다. 이를 통해 정확한 자료수집과 분석을 수행할 수 있으며, 이에 따른 예방책을 수립할 수 있을 것으로 예상된다. 각각에 해당하는 세부 내용은 <표 9>와 같다.

<표 9> 업무 프로세스 개선에 따른 세부 대책

구분	내용
통계자료 및 관련DB 구축 프로세스 개선	- 지반함몰 관련 기초자료(발생 및 피해현황, 지질, 지하수 등) 구축에 관한 매뉴얼 및 지침 작성·운영
	- 지하공간 통합지도 구축 및 관리 지침 작성·운영
	- 지반침하(함몰) 지도 작성·운영
	- 하수도 종합정보시스템 운영
	- 지반함몰(침하)과 연계한 지하수 계측자료 구축 및 운영
지자체 업무지침 수립	- 특별법 제7조에 따른 시·도 지하안전관리계획 수립 지침 작성·운영
	- 특별법 제14조, 제 23조에 따른 지하안전영향평가 및 소규모 지하안전영향평가 시행 지침 작성·운영
	- 특별법 제34조에 따른 지하시설물 및 주변지반에 대한 안전점검 지침 작성·운영
	- 특별법 제35조에 따른 지반함몰(침하) 위험도평가 시행 지침 작성·운영
	- 중앙부처와 지자체간 업무수행 절차 및 지자체 유관부서 간 업무수행절차 확립
정보시스템 연계 및 유지관리	- 지하안전정보체계의 구축 및 운영 지침 작성·운영

2) 협력체계 구축

지하공간 통합지도 구축, 공사장 안전관리 강화, 특별법 제정, 노후 하수관로 조사 및 보수·보강 등 지반함몰 유관기간 간 업무가 부처별, 부서별로 수행되고 있다. 하지만 이러한 업무 자료 및 내용이 서로 원활하게 공유되지 못하고 있는 실정으로 업무가 중복되고 지체될 가능성이 있다. 이에 국토교통부 및 환경부에서 수행 중인 조사, 평가, 처리 등에 대한 자료를 공유할 수 있는 협력체

계 구축이 필요하다. 각각의 유관 부처 및 부서별 관련자료는 「지하안전관리에 관한 특별법」에 의한 지하안전정보체계를 활용하여 공유할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 민관협력 및 관련 전문가를 활용할 수 있으며, 각각에 해당하는 세부 내용은 <표 10>과 같다.

<표 10> 협력체계 구축에 따른 세부 대책

구분	내용
유관 부처 및 부서	- 부처 및 부서의 업무분장 명확화
	- 지하정보통합체계 및 다 정보체계와의 연계를 위한 협의체 구성
	- 지하안전정보체계를 활용한 유관 부처 및 부서별 관련 자료(사업추진 현황, 기초조사 자료, 사고현황 조사 등)의 공유
	- 굴착공사 안전관리 시스템 연계
민관협력	- 지반침하(함몰) 신고제 운영
	- 주민 하수관로 점검반 설치 및 운영
	- 민간보험을 활용한 도로 및 도로시설물 배상책임보험 도입
전문가 활용	- 굴착공사장 점검 실시

3) 「지하안전관리에 관한 특별법」 개선

「지하안전관리에 관한 특별법」은 2016년 1월에 제정되었으며, 현재 시행령 및 시행규칙의 제정이 진행 중이다. 2018년 시행 예정에 있는 특별법의 실효성 및 실행력을 향상시키기 위해 제정된 내용을 면밀히 검토할 필요가 있다. 현재 특별법과 성격이 비슷한 타 법에서 중요한 사항으로 여겨지는 기초조사 및 지반침하취약성평가 등이 누락되어 있으며, 지하안전영향평가는 환경영향평가 및 사전재해영향성검토의 항목과 일부 중복되

어 이에 대한 개선이 필요하다. 각각에 해당하는 세부 내용은 <표 11>과 같다.

<표 11> 「지하안전관리에 관한 특별법」 관련 세부 대책

구분	내용
「지하안전관리에 관한 특별법」 개정	- 특별법 제14조에 따른 지하안전영향평가 개선
	- 기초조사 신설
	- 지반침하취약성평가 신설
	- 지반침하지도 신설
	- 지반침하관측망 신설
다른 법과의 연계성	- 특별법 제14조에 따른 지하안전영향평가 항목과 환경영향평가, 사전재해영향성검토 항목의 지반·지하수 조사 등의 통폐합 방안 고려
	- 「지하수법」의 지하수 조사 및 수문지질도의 연계 활용

4) 지반함몰 예방정책 강화

지반함몰 발생의 주원인인 노후 하수관로 손상에 대한 조사와 보수·보강에 관한 사항은 지속적으로 이루어져야 하며, 이와 관련하여 지자체에 중앙부처의 지원이 보강되어야 한다. 또한 굴착공사 시 관리 미흡 및 지하수 유출에 따른 지반함몰 발생을 막기 위한 현존하는 토목기법, 설계, 규제 및 제도 등을 강화하여 지반함몰의 발생을 예방할 수 있을 것으로 기대한다. 기존의 노후 하수도 조사 및 정비에 관한 사항은 「지하안전관리에 관한 특별법」에 따른 지하정보통합체계와 연계 운영하여 제도를 강화할 수 있을 것으로 판단된다. 각각에 해당하는 세부 내용은 <표 12>와 같다.

〈표 12〉 지반함몰 예방정책 강화에 따른 세부 대책

구분	내용
노후 하수도 조사 및 정비	- 노후 하수도 조사, 보수·보강 강화 - 노후 하수도 조사 및 정비에 관한 데이터 구축 및 관리 강화
공사장 유출지하수 관리	- 공사장 주변 지반침하 계측 - 유출지하수 신고 시스템 운영 강화 - 지하수위 영향구간 선정 및 관리 기준 설정 - 지하수 및 토사유출 방지를 위한 시공 강화 - 유출지하수와 지반침하를 연계한 관측망 운영 - 지하수영향조사의 확대 - 유출지하수량 및 토사유출량 계측
전국단위 지반침하 관측망 운영	- 전국단위 지반침하 관측망 운영

V. 결론

이 연구는 국내·외 지반함몰 관련 정책 현황을 분석하고, 이에 따라 다음과 같은 4가지 정책 개선(안)을 제시한다.

1) 업무 프로세스 개선을 위하여 통계자료 및 관련 DB 구축 프로세스를 개선하고, 「지하안전관리에 관한 특별법」 관련 제도 실행을 위해 지자체 업무지침을 수립해야 한다. 그리고 지하안전관리 관련 각종 정보시스템 연계 및 유지관리 체계를 구축할 필요가 있다.

2) 지반함몰 관련 유관기관 간 협력체계를 구축하기 위한 정책을 신설하고, 민·관 협력을 위해 시민과 외부 전문가를 활용하는 정책을 수립해야 한다.

3) 「지하안전관리에 관한 특별법」의 실효성 증진 및 실행력 확보를 위한 법제도의 개정이 필요하다. 또한 「환경영향평가법」의 환경영향평가, 「자연재해대책법」의 사전재해영향성검토, 「지하수법」의 지하수 조사 및 수문지질도를 연계 활용하는 방안을 제시해야 한다.

4) 지반함몰 예방정책 강화를 위해서는 기존 노후 하수도 조사 및 정비를 지속적으로 실행해야 하고, 공사장 유출지하수 관리방안을 마련할 필요가 있다. 그리고 전국단위의 지반침하 관측망을 신설해 운영해야 한다.

이 연구의 지반함몰 예방정책의 개선안은 현존하는 정책의 전반적인 사항을 검토하고 도출한 것으로 세부 사항까지 다루지 못하였으며, 검증이 이루어지지 않은 사항이다.

그러나 이 연구가 제시한 예방정책 개선(안)을 기반으로 향후 전문가 설문조사 및 정책 토론회 등 검증작업을 통해 우선 필요한 사항을 도출할 수 있으며, 그에 따라 실행 가능한 예방정책을 수립하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 국민안전처, 2016, 「사전재해영향성검토협의 실무지침」.
- 국토교통부, 2010, 「건설공사 안전관리업무 매뉴얼」.
- 국토교통부, 2014, 「싱크홀 예방을 위한 지반침하 예방대책 보도자료」.
- 국토교통부, 2014, 「싱크홀 예방을 위한 지하공간 통합안전관리체계 구축 보도자료」.
- 국토교통부, 2015, 「지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼」.
- 국토교통부, 2015, 「지반 안전점검을 위한 지반탐사반 가동 보도자료」.
- 서울특별시, 2014, 「도로함몰 특별 관리대책 보도자료」.

서울특별시, 2015, 「서울특별시 지하수관리계획」.
 서울특별시, 2016, 「동공 발생 메커니즘 규명 및 대응방안에 관한 연구」.
 서울특별시, 2016, 「서울시 도로함몰 예방대책 추진현황」.
 서울특별시 동부도로사업소, 2016, 「도로함몰 원인분석과 대책에 관한 연구」.
 서울연구원, 2016, 「일본 동경 해외출장보고서」.
 환경부, 2014, 「지반침하 관련 하수도시설 긴급점검 계획 보도자료」.
 환경부, 2015, 「지반침하 대응 하수관로 정밀조사 매뉴얼 (안)」.
 환경부, 2015, 「노후 하수관로 정밀조사 실시 보도자료」.
 한국환경정책평가연구원, 2015, 「환경영향평가서 검토 및 작성 매뉴얼:지형·지질」.
 최연우·최현·김종민, 2016, “서울시 동공발생 메커니즘

규명 및 관리방안”, 「한국구조물진단유지관리공학 회지」, 19(4): 45~47.
 자연재해대책법(법률 제13797호)
 지하수법(법률 제13383호)
 지하안전관리에 관한 특별법(법률 제13749호)
 환경영향평가법(법률 제14232호)
 일본 내각관방, 2014, 「국토강인화계획(國土強靱化とは?)」.
 일본 국토교통성, 2007, 「쉴드공사 점용허가 조건과 해설 (안)(シールド工事占用許可条件と解説(案))」.
 소셜 분석 서비스 펄스K <http://www.pulsek.com/pulsek/>

원 고 접 수 일 : 2016년 11월 10일
 1차심사완료일 : 2017년 1월 4일
 최종원고채택일 : 2017년 2월 22일