도시규모를 고려한 도로함몰 사고 복구 행동절차 및 체크리스트 개발

Development of Urban Scale Action Procedure and Checklist for Road Sink Accident Restoration

성주현* · 최병일**

Seong, Joohyun*, and Choi, Byoungil**

Abstract

Following continuous occurrences of road sinks in the center of Seoul in 2014, this phenomenon has become a major social issue in Korea. Although the government, municipalities, and related experts have made lots of efforts to prevent road sink accidents, these incidents are still occurring all over the country. Road sink accidents are often accompanied by emergency situations because of their close association with loss of human life and property damage. Therefore, this study aims at presenting urban-scale restoration action procedures and checklist items that can be used by government officials to recover quickly in the event of a road sink incident.

Key words : Road Sink, Restoration, Action Procedure, Checklist

요 지

2014년 서울 중심에서 도로함몰 현상이 연속하여 발생함에 따라 도로함몰 현상은 사회적으로 큰 이슈가 되었다. 지금까지도 정부 · 지자체, 관련 전문가들은 도로함몰 사고 예방을 위해 많은 노력을 기울였지만 여전히 전국에 걸쳐 사고가 발생하고 있는 실정이다. 도로함몰 사고는 인명 및 재산 피해와 직접적인 관련이 있으므로 긴급 상황을 동반할 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 도로함몰 사고 발생시 지자체 실무자들이 신속히 활용할 수 있는 복구 행동 절차와 필수 점검 항목을 도시규모에 따라 제시하고자 한다.

핵심용어 : 도로함몰, 복구, 행동절차, 체크리스트

1. 서 론

2014년 8월 서울시 잠실 인근 5개 지역에서 도로함몰 사고가 발생함에 따라 주변일대 차량 통행이 전면 통제되었으며, 관련 내용이 언론에 노출되며 도로함몰 사고는 사회적 이슈로 부각 되었다(MOLIT, 2015a). 당시 도로함몰 사고가 전국에서 가장 많이 발생하던 서울시에서는 사고 발생 원인을 분석하였으며, 그 결과 하수관손상(84.5%), 상수관손상(1.7%), 인접굴착공사 등 기타(13.8%) 순으로 나타났다

(Seoul Metropolitan City, 2014). 그리고 최근 서울시에서 발간한 ‘서울시 도로관리 기술백서’에서도 도로함몰 사고 원인 및 빈도를 분석하였다. 사고원인은 하수관손상(51%), 상수관손상 (13%), 굴착복구미흡(25%), 공사중함몰(11%) 순으로 나타났으며, 여전히 매설관로가 도로함몰 사고 원인으로 가장 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다(Seoul Metropolitan City, 2017). 이는 도시 노후화뿐만 아니라 도시 규모와도 관련이 있을 것이라 판단된다. Fig. 1은 서울시에서 분석한 도로함몰 발생 원인을 나타낸다. 그리고 도로함몰

*정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 수석연구원(E-mail: bluehill@kistec.or.kr)

Member, Head Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC

**교신저자, 정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 연구원(Tel: +82-55-771-4784, Fax: +82-55-771-4939, E-mail: bichoi@kistec.or.kr)

Corresponding Author, Member, Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC

사고 발생 빈도는 사회적 이슈를 감안한 서울시의 사고저감 노력으로 인해 매년 줄어들고 있는 것으로 나타났다(Seoul Metropolitan City, 2017). Fig. 2는 서울시에서 발생한 도로함몰 발생 건수를 나타낸다.

Fig. 1. Causes of Road Sink (Seoul, 2014, 2017)

Fig. 2. Road Sink Occurrences (Seoul, 2017)

도로함몰 사고가 사회적으로 이슈화 되고 매년 전국에서 발생함에 따라 정부 및 지자체, 관련 전문가들은 도로함몰 사고 예방을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 국토부에서는 도로함몰 현상의 효과적인 대응을 위해 ‘지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼’을 발간하여 지반침하(함몰) 발생원인 분석 및 지반침하(함몰) 안전관리 방안을 제시하고 (MOLIT, 2015b), 사안의 중대성을 감안하여 지반침하 사고 사전예방을 위해 ‘지하안전관리에 관한 특별법(시행: 2018.01.01.)’을 제정하였으며(Special Act on Underground Safety Management, 2018), 환경부에서는 ‘하수관로 정밀조사 매뉴얼’을 통해 도로함몰의 가장 큰 원인으로 지목받고 있는 노후관로 내부 진단 방법을 구체화 하였다(Ministry of Environment, 2015). 또한 서울시에서는 사회적 관심을 반영하여 도로함몰 사고를 줄이기 위해 노후관로 교체, 공동탐사 등 선제적 도로함몰 사고 대응뿐만 아니라 관련 정책 및 기술 개발에 많은 노력을 기울였으며, 도로관리 기술을 공유하여 적극 활용될 수 있도록 ‘서울시 도로관리 기술백서(2017)’를 발간하였다(Seoul Metropolitan City, 2017). 그리고 Seong et al. (2016)은 도로함몰 현상을 효과적으로 대응할 수 있는 중앙부처 정책 지원을 위해 재난관리 단계(예방-대비-대응-복구)에 따라 대응할 수 있는 전략과제를 도출하였으며, Kim et al. (2017)은 도로함몰의 주된 원인으로 주목받고 있는 노후 하수관로 관련 상관관계 분석을 위해 다양한 종류의 하수관로 및 주변 환경 정보를 고려하여

도로함몰 위험도 평가 방안을 제시 하였다. 여기서 정부 부처에서 일반적으로 사용하는 용어 중 지반침하는 가장 광의적인 표현에 해당되며 도로함몰은 이에 비해 협의적인 표현에 해당된다. Table 1은 지반침하 관련 용어 정의를 나타낸다(MOLIT, 2015b).

Table 1. Relevant Terms of Road Sink

Term	Contents
Sinking	The collapse of the surface by various factors and the fall of the surface locally in vertical direction
Settlement	A phenomenon in which soft ground or artificially formed land slowly sinks without sufficient hardening in a wide area
Cavity	Empty space in the ground by various factors and when extended the surface occurs sinking
Sinkhole	A phenomenon in which the surface layers of limestone, plaster, rock salt, etc. are collapse due to the chemical effects of groundwater and surface water
Pothole	Small holes in the surface due to rainwater inflow into road pavement

본 연구에서는 도로함몰 사고 발생 원인이 도시 노후화와 관련 있는 매설관로의 영향이 가장 크고, 도시 규모가 클수록 라이프라인이 조밀하게 구축되어 있음을 착안하여 도시규모 특성을 고려한 도로함몰 사고 복구대응 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 인구수, 인구밀도 및 지방자치단체 행정조직 특성 분석을 통해 도시규모를 분류하였으며, 이를 바탕으로 도로함몰 사고발생시 사회적 혼란을 최소화하기 위해 지자체 실무자들이 활용할 수 있는 도로함몰 사고 복구업무 행동절차 및 체크리스트를 개발하였다.

2. 도시규모 분류 및 도로함몰 사고특성 분석

도시규모 특성을 반영한 도로함몰 사고 복구 대응을 위해 대규모 도시, 중·소규모 도시로 구분하고자 한다. 이를 위해 우선 지방자치단체 구분 특성을 검토하였으며, 그 후 50개의 샘플 도시를 선정하여 도시별 도로함몰 복구 조직 특성, 인구수 및 인구밀도 분석하였다. 그리고 국내 대규모 도시에서 발생한 도로함몰 사고 특성을 추가 분석 하였다.

2.1 지방자치단체 특성 분석

우리나라는 지방자치법 제2조에 따라 지방자치 단체를 광역자치단체와 기초자치단체로 나누고 있다. 여기서 광역자치 단체는 서울특별시, 6개의 광역시, 8개의 도, 특별자치도, 특별자치시를 포함한 17개로 구분되며, 기초자치단체는

시·군·구 단위의 명칭으로 226개 지역으로 구분하고 있다. 하지만 광역자치단체 도에 포함되어 있는 시의 ‘일반구’와 특별자치도의 ‘시’는 지방자치단체가 아니라 단순한 행정구역으로 분류하고 있다. 그리고 ‘광역시’의 경우 설치 지정에 관한 법적 요건은 없었으나, 통상적으로 인구수가 100만 명 이상 도시로써 지역 주민 등의 국민 공감대 형성, 면적·지리적 여건, 인근 지방자치단체에 미치는 영향, 재정 부담능력, 지방행정체제에 대한 국가의 정책적 판단 등을 종합 검토한 후 지정하는 것으로 나타났다. ‘시’의 경우 지방자치법 제7조 1항에 나타나듯이 ‘도시의 형태를 갖추고 인구 5만 이상이 되어야 한다.’고 명시되어 있다(Local Autonomy Act, 2017).

도로함몰 복구대응 조직 특성 분석을 위해 서울시, 6개의 광역시, 도시규모별 특성을 모두 가지고 있는 경기도의 28개 도시, 기타지역 중·소규모 15개 도시 등 총 50개 도시를 대상으로 행정 조직 특성을 분석하였다. 광역자치단체인 특별시·광역시·도의 도로관련 업무를 담당하는 부서는 일정 규모 이상의 큰 도로(대구시 기준 20m 이상)를 관리하고 있었다. 그리고 도로함몰 사고와 직접 관련된 도로 굴착/보수 업무는 부서 명칭에는 차이가 있지만 일반적으로 안전을 담당하는 ‘본부(국)’ 산하에 독립적인 전담 조직을 두어 업무를 수행하게 하고 있으며, 광역자치단체 내부 조직에서는 도로개설 등 계획 수립 업무를 수행하고 있다. 기초자치단체인 시/군/구는 행정구역 분류상 동급으로 광역자치단체에서 다루는 도로 보다 작은 규모의 도로 관리를 관리하고 있으며, 건설관련 ‘국’ 산하에 도로관리 ‘과’에서 도로개설 등 계획 수립 업무와 굴착/보수 업무를 종합적으로 담당하고 있다. 지자체별 행정조직 특성 분석 결과 행정구역 구분은 동급이지만 도시 크기, 인구수, 도로 연장, 지리적 특성 등 종합적인 특성을 반영하여 도로관리 대응 조직이 구성되는 것으로 나타났다. Table 2는 지자체 행정구역 특성 분석을 수행한 50개 도시를 나타낸다.

Table 2. Analysis Target Cities

Division	Name of City
Metropolitan Council(7)	Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Ulsan
Gyeonggi-do (28)	Suwon, Goyang, Seongnam, Bucheon, Ansan, Anyang, Yongin, Hwaseong, Uijeongbu, Siheung, Gwangmyeong, Gunpo, Osan, Guri, Pyeongtaek, Paju, Gimpo, Gwangju, Hanam, Icheon, Yangju, Ansung, Uiwang, Pocheon, Yeosu, Dongducheon, Gwacheon, Namyangju
Other Areas (15)	Changwon, Jeonju, Jeju, Cheongju, Cheonan, Pohang, Gimhae, Sejong, Wonju, Yeosu, Gumi, Mokpo, Gwangyang, Jinju, Milyang

2018년 4월 통계청 자료에 의하면 우리나라 총 인구수는

약 5천 2백만 명이며, 인구수가 가장 많은 단일도시로는 우리나라 수도인 서울로 약 980만 여명이며, 다음은 광역시 단위로 부산광역시, 인천광역시, 대구광역시, 대전광역시, 광주광역시, 울산광역시 순으로 각각 100만명 이상인 것으로 나타났다. 도 단위 지역은 28개시 3개군으로 이루어진 경기도가 약 1,300만명으로 가장 높게 나타났다. 특히 경기도 내 수원시, 고양시의 경우 통상적인 광역시 승격 기준에 해당하는 인구수가 100만명 이상이었으며, 용인시, 성남시의 경우도 인구수가 100만명에 육박하는 것으로 나타났다. 다른 도 단위 지역의 경우 경상남도, 경상북도, 충청남도, 전라남도 등의 순으로 인구수가 높게 나타났으며 도내 도시별 합산 인구수가 각각 100만명이 넘는 것으로 나타났다(Statistics Korea, 2018).

인구 밀도의 경우 2017년 8월 통계청 자료에 따르면 전국평균이 513명/km²으로 나타났으며, 인구수와 마찬가지로 서울이 16,000명/km² 이상으로 인구밀도가 높은 것으로 나타났다. 다음은 광역시 권역이 높게 나타났으며, 부산광역시의 경우 4,000명/km² 이상, 울산광역시는 약 1,100명/km²이상, 나머지 광역시는 인구밀도가 3,000명/km²에 가까운 것으로 나타났다. 도 단위의 경우 경기도가 가장 높은 1,200명/km²이 넘는 것으로 나타났으며, 특히 경기도 내 부천의 경우 16,300명/km²으로 전국에서 가장 인구밀도가 높은 도시로 조사 되었으며, 안양의 경우도 인구밀도가 10,000명/km²이 넘는 것으로 나타났다. 경기도 내 대부분의 도시가 전국 평균 인구밀도보다 높게 나타났지만 경기도를 제외한 나머지 도에 속한 도시들의 경우 청주시, 천안시, 김해시, 전주시 등 일부 도시를 제외한 모든 도시들이 전국 평균 인구밀도보다 낮게 나타났다(Statistics Korea, 2017). Table 3은 행정구역에 따른 인구수 및 인구 밀도를 나타낸다.

Table 3. Population and Population Density by Region

Division	Population	Population Density
Seoul	9,830,452	16,154
Busan	3,460,707	4,454
Daegu	2,471,136	2,790
Incheon	2,952,476	2,751
Gwangju	1,460,972	2,995
Daejeon	1,496,123	2,839
Ulsan	1,161,303	1,099
Sejong	295,041	593
Gyeonggi-do	12,941,604	1,258
Gangwon-do	1,545,452	90
Chungcheongbuk-do	1,595,164	217
Chungcheongnam-do	2,120,666	261
Jeollabuk-do	1,847,089	227
Jeollanam-do	1,890,412	146
Gyeongsangbuk-do	2,682,897	141
Gyeongsangnam-do	3,377,126	318
Jeju	661,511	343

2.2 도시규모 분류

도시규모 분류를 위해 인구수, 인구밀도, 행정조직 특성을 분석하였다. 3가지 인자들을 활용하여 지자체 실무자들을 대상으로 각각의 인자들을 몇 단계로 구분하는 것이 합리적 인지에 관해 전문가 자문을 수행하였다. 자문 결과, 도로합몰 사고 발생시 참고자료로 활용성을 높이기 위해 최소 단계로 구분하는 것이 가장 합리적일 것으로 의견이 모여 인구수 및 인구밀도는 3단계, 대응 조직은 2단계로 구분하는 것으로 결정하였다. 그리고 자문 의견을 반영하여 앞서 분석한 50개 도시를 대상으로 인구수, 인구밀도, 행정조직 특성, 도시별 특성, 지리적 특성 등을 고려하여 임의로 구분한 7가지 샘플 형태의 도시규모 분류 기준을 작성 하였다. 그리고 최적의 분류기준 선택을 위하여 설문을 통해 전문가들의 집단 의사

결정을 체계화할 수 있는 방법으로 AHP 분석을 수행하였다. 지자체 실무자, 전문가 등 15인을 대상으로 AHP 분석결과 인구수는 100만명 이상을 3점, 50만이상~100만 미만 2점, 50만 미만은 1점으로 구분하고, 인구밀도의 경우 2,000명/km² 이상이 3점, 500명/km²이상~2,000명/km²미만이 2점, 500명/km² 미만 도시가 1점으로 분류된 기준과 행정조직의 경우 특별 시, 광역시, 구(일반구 포함)에서 도로합몰 사고 복구업무 대응시 2점, 시·군 단위에서 대응시 1점으로 분류한 기준을 최적 분류 기준으로 선정 할 수 있었다. 결과적으로는 배점 합산 값이 6이상인 도시들은 대규모 도시로, 배점 합산 값이 5이하인 도시들은 중·소규모 도시 분류할 수 있었다. Table 4는 최종 선정된 도시규모 분류기준과 이 때 도시규모 에 따라 분류된 도시들을 나타낸다.

Table 4. Urban Size Classification Criteria and Relevant Cities

Factor	Classification Criteria		City Classification
	Range	Score	
Population	A million people and/or above	3	Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Ulsan, Suwon, Goyang, Changwon
	Half a million people and/or above~Under one million people	2	Seongnam, Bucheon, Ansan, Anyang, Yongin, Jeonju, Jeju, Namyangju, Hwaseong, Cheongju, Cheonan, Pohang, Gimhae
	Under half a million people	1	Uijeongbu, Siheung, Gwangmyeong, Gunpo, Osan, Guri, Sejong, Pyeongtaek, Paju, Gimpo, Gyeonggi-Gwangju, Hanam, Icheon, Yangju, Anseong, Uiwang, Pocheon, Yeosu, Dongducheon, Gwacheon, Wonju, Yeosu, Gumi, Mokpo, Gwangyang, Jinju, Milyang
Population Density	2,000 people/m ² and/or above	3	Bucheon, Seoul, Anyang, Gwangmyeong, Suwon, Gunpo, Seongnam, Guri, Uijeongbu, Ansan, Mokpo, Osan, Busan, Goyang, Jeonju, Siheung, Gwangju, Uiwang, Daejeon, Daegu, Incheon, Gwacheon
	500people/m ² and/or above~Under 2,000people/m ²	2	Hanam, Yongin, Changwon, Namyangju, Gimhae, Dongducheon, Ulsan, Cheonan, Gimpo, Pyeongtaek, Cheongju, Hwaseong, Yangju, Gyeonggi-Gwangju, Gumi, Sejong, Paju, Yeosu
	Under 500people/m ²	1	Jinju, Icheon, Pohang, Jeju, Anseong, Gwangyang, Wonju, Pocheon, Yeosu, Milyang
Response Organization	Seoul metropolitan city, metropolitan city, province, borough(including general 'gu')	2	Seoul, Anyang, Suwon, Seongnam, Ansan, Busan, Goyang, Jeonju, Gwangju, Daejeon, Daegu, Incheon, Yongin, Changwon, Ulsan, Cheonan, Cheongju, Pohang
	city, gun	1	Bucheon, Gwangmyeong, Gunpo, Guri, Uijeongbu, Mokpo, Osan, Siheung, Uiwang, Gwacheon, Hanam, Namyangju, Gimhae, Dongducheon, Gimpo, Pyeongtaek, Hwaseong, Yangju, Gyeonggi-Gwangju, Gumi, Sejong, Paju, Yeosu, Jinju, Icheon, Jeju, Anseong, Gwangyang, Wonju, Pocheon, Yeosu, Milyang
City Size	Total Score		City Classification
Large Size	6 and/or above		Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Suwon, Goyang
Middle/Small Size	not more than 5		Changwon, Ulsan, Yongin, Anyang, Seongnam, Ansan, Cheonan, Cheongju, Pohang, Jeonju, Bucheon, Gwangmyeong, Gunpo, Guri, Uijeongbu, Mokpo, Osan, Siheung, Uiwang, Gwacheon, Hanam, Namyangju, Gimhae, Dongducheon, Gimpo, Pyeongtaek, Hwaseong, Yangju, Gyeonggi-Gwangju, Gumi, Sejong, Paju, Yeosu, Jinju, Icheon, Jeju, Anseong, Gwangyang, Wonju, Pocheon, Yeosu, Milyang

2.3 도시규모별 도로함몰 사고 특성 분석

국토부(2015)에서는 최근 5년(15년 12월 기준)동안 전국에서 발생한 지반침하 사고 현황을 발표하였다(MOLIT, 2015c). 서울시에서는 매년 500건 이상의 지반침하 사고가 발생하였으며, 부산, 광주, 울산에서도 지속적으로 지반침하 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 인구수·인구밀도가 높은 도시들을 다수 포함하고 있는 경기도에서도 최근 들어 지반침하 사고가 급증 한 것으로 보아 대규모 도시일수록 지반침하 사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 도로함몰 사고가 많이 발생하는 대규모 도시의 경우 대부분 도시 라이프라인이 지표면 아래에 조밀하게 구축되어 있으며, 지하 개발 공사가 활발히 진행하고 있는 특성상 발생빈도가 중·소규모 도시보다 클 수밖에 없을 것으로 판단된다. Table 5는 국토부에서 발표한 지반침하 사고 현황 분석 자료이다.

Table 5. Status of Ground Subsidence Accident

City \ Year	'11	'12	'13	'14	'15
Seoul	572	691	850	779	734
Busan	1	5	-	11	11
Daegu	-	-	-	5	7
Incheon	-	1	-	3	7
Gwangju	-	17	37	19	11
Daejeon	-	-	-	-	12
Ulsan	-	1	1	5	21
Sejong	-	-	-	1	3
Gyeonggi-do	-	4	6	15	122
Gangwon-do	-	-	-	-	27
Chungcheongbuk-do	-	-	-	2	13
Chungcheongnam-do	-	-	1	3	7
Jeollabuk-do	-	4	-	2	7
Jeollanam-do	-	-	1	2	14
Gyeongsangbuk-do	-	-	-	3	6
Gyeongsangnam-do	-	-	2	8	26
Jeju	-	-	-	-	8
Total	573	723	898	858	1,036

그리고 실제 매스컴에 노출된 몇몇 인명/재산 피해를 동반한 국내에서 발생한 대형 도로함몰 사고 발생 사례를 살펴보면 주로 대규모 도시에서 규모가 큰 도로함몰 사고가 발생한 것을 알 수 있었으며, 사고 복구대응 조직도 이에 상응하는 구성이 필요 할 것이다. Fig 3은 대규모 도시에서 발생한 주요 도로함몰 사고 사례를 나타낸다(Yonhap News, 2012; NEWSIS, 2014; SBS CNBS, 2016; Joongang Daily, 2017).

Incheon(2012. 02)

Busan(2016. 08)

Seoul(2014. 08)

Ulsan(2017. 06)

Fig. 3. Road Sink Accident of Large Scale

도로함몰 사고 발생시 복구대응 조직 구성의 경우 앞서 언급하였듯이 사고 피해 규모에 따라 대응할 수 있는 조직 구성이 필요하며, 3가지 정도로 구분이 가능할 것이라 판단 된다. 첫째 인명·재산 피해가 발생하지 않고 관계 기관·관련 사업자의 협조가 필요 없이 신속히 피해복구가 가능한 주로 중·소규모 도시에 적합한 사고 복구대응 조직 구성이 필요하며, 둘째 인명/재산의 피해가 발생하거나 도로함몰 사고로 인해 2차 피해 발생가능성이 있는 대규모 도시에 적합한 사고 복구대응 조직 구성이 필요하다. 마지막으로 일정규모 이상의 대형사고 발생시 상급기관과 협조·운영할 수 있는 사고 복구대응 조직을 대·중·소규모 도시 모두 대비해야 할 것으로 판단된다.

3. 도시규모별 도로함몰 복구대응을 위한 행동절차 및 체크리스트 개발

도로함몰 사고 발생시 지자체 담당자의 신속한 복구 업무 지원을 위해 도로함몰 관련 법규를 분석하여 업무 처리시 고려해야 할 사항에 관해 검토하였다. 그리고 이를 바탕으로 도시규모별 도로함몰 사고 발생시 활용 가능한 행동절차 및 체크리스트를 작성하였다.

3.1 도로함몰 관련 법규분석

‘지하안전관리에 관한 특별법’은 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립함으로써 지반침하로 인한 위해(危害)를 방지하고 공공의 안전을 확보함을 목적으로 한다. 주요내용으로, 국토교통부장관 및 지방자치단체의 장이 지하안전관리계획을 수립·시행하고, 지하안전관리 계획 등을 심의하기 위하여 지하안전위원회를 둘 수 있도록 하며, 일정 규모 이상의 굴착공사를 수반하는 사업에 대해서는 지하개발자가 지하안전영향평가 및 사후지하안전영향조사를 실시하도록 하고 있다. 도로함몰 사고 대응과 직접적으로 관련 있는 내용으로, 법 제34조에서는

지하시설물 관리자의 소관시설물 및 주변 지반에 대한 안전 점검 실시에 관해 제시하고 있으며, 법 제35조에서는 긴급복구공사 완료, 안전점검 실시결과 지반침하가 우려가 있을 때, 지반침하 위험도 평가 실시 명령을 하고 공사 주체에 지반침하 위험도 평가를 받게끔 하고 있다. 이 때 위험성이 확인되면 중점 관리대상지역으로 지정 후 관리하게 하고 있으며, 동법 36조에서는 중점관리대상이 지정·고시된 경우 위험을 알리는 표지를 설치하도록 하고 있다. 그리고 동법 38조에서는 지하시설물에 의해 지반침하가 발생하거나 발생 우려가 있을 때 시장·군수·구청장은 관련 시설을 사용 제한·금지 혹은 보수·보강 또는 제거 등의 안전조치를 명할 수 있으며 위임 받은 자는 경과를 통보해야 하고, 동법 39조에서는 지반침하가 발생했거나 발생 우려가 있을 때 대피 명령 혹은 강제 대피를 시킬 수 있게끔 하고 있다 (Special Act on Underground Safety Management, 2018).

‘도로법’은 도로망의 계획수립, 도로 노선의 지정, 도로 공사의 시행과 도로의 시설 기준, 도로의 관리·보전 및 비용 부담 등에 관한 사항을 규정하여 국민이 안전하고 편리하게 이용할 수 있는 도로의 건설과 공공복리의 향상에 이바지함을 목적으로 한다. 주요 내용으로, 도로에 관한 계획의 수립을 위해 국토교통부장관은 도로망의 건설 및 효율적인 관리 등을 위하여 10년마다 국가도로망종합계획을 수립하도록 하고 있으며, 도로관리청은 도로의 원활한 건설 및 도로의 유지·관리를 위하여 5년마다 동법 제23조의 구분에 따른 소관도로에 대하여 도로건설·관리계획을 수립하도록 하고 있다. 또한 동법 39조에서는 도로관리청은 도로 구간의 전부 또는 일부의 사용을 개시하거나 폐지 하려면 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 이를 공고하고 그 도면을 일반인이 열람할 수 있도록 하고 있다. 도로함몰 사고 대응을 위해 실무자들이 참고할 만한 사항으로는, 법 제31조에서는 도로공사와 도로 유지관리를 해당도로의 도로관리청에서 수행토록 하고 있으며 특별한 경우 도지사 혹은 특별자치도지사가 수행 가능하도록 하고 있다. 동법 35조에서는 도로관리청은 도로공사 외의 공사 또는 도로공사 외의 행위로 인하여 도로공사가 필요하게 되면 그 타공사의 시행자나 타행위를 한 자에게 그 도로공사를 시행하게 하거나 그 타공사의 시행자나 타행위를 한 자의 부담으로 직접 도로공사를 할 수 있게 하고 있다. 또한 동법 37조에서는 도로관리청이 도로에 관하여 직접적인 이해관계가 있는 공공단체 또는 사인(私人)에게 대통령령으로 정하는 경미한 도로공사나 도로의 유지·관리를 하게 할 수 있게끔 하고 있다. 동법 57조에서는 도로관리청은 효율적으로 도로를 관리하기 위하여 필요하면 소속 공무원 중에서 도로관리원을 임명할 수 있게끔 하고 있으며, 이때 도로관리원은 공사의 중지, 도로구역 또는 접도구역에 있는 공작물이나 그 밖의 물건에 대한 개축·이전·제거를 명할 수 있도록 하고 있다(Road Act, 2017).

3.2 도로함몰 복구 단계별 행동절차 및 체크리스트

도로함몰 사고는 인명·재산 피해와 밀접한 관련이 있으므로 이는 대부분 긴급 상황을 동반하게 된다. 실제 업무 처리를 수행하는 지자체 실무자들도 긴급 상황 발생에 따른 혼란을 야기 할 수도 있다. 그래서 도시규모별 사고 특성과 도시규모와 상관없이 대규모 피해를 동반한 도로함몰 사고 발생 상황을 대비하여 복구대응 업무 수행 절차와 각 단계별 필수 점검사항을 체크리스트로 제시하였다.

3.2.1 중·소규모 도시의 도로함몰 사고 복구대응

중·소규모도시는 대규모 도시에 비해 상대적으로 인구수 및 인구밀도가 높지 않으며 도로하부 지하개발 규모도 대도시에 비해 작음을 고려할 때 도로함몰 사고가 발생하더라도 대부분 소규모일 가능성이 클 것으로 판단된다. 여기서 소규모 도로함몰 사고는 도로함몰이 직접적인 원인으로 작용하여 인명·재산 등의 피해가 발생하지 않았으며, 교통사고, 함몰범위 확대, 주변구조물 파손 등의 2차 피해가 우려되지 않는 단계를 나타낸다. 그러므로 도로함몰 사고가 발생하면 이에 걸맞은 현장 대응조직을 가동하여 현장 안전조치를 우선 실시하고 발생원인 조사, 현장 복구 순서로 업무를 수행하고 필요시 복구 완료 후 현장 추적 조사를 수행해야 한다. Table 6은 중·소규모 도시에서 도로함몰 사고 발생시 실무자들이 활용할 수 있는 행동절차 및 체크리스트를 나타낸다.

3.2.2 대규모 도시의 도로함몰 사고 복구대응

대규모도시는 인구수 및 인구밀도가 높으며, 도시개발을 위해 지하 공사가 활발히 진행되고 있는 특징을 가지고 있다. 이 같은 특징들은 도로함몰 사고를 일으키는 원인과도 직접적으로 관련되며, 도로함몰 사고 발생시 대규모의 도로함몰 사고로 이어질 것으로 판단된다. 이때 대규모 사고는 도로함몰로 인한 주변구조물 파손, 인명·재산 피해가 발생하였거나, 2차(교통사고, 함몰범위 확대, 주변구조물 파손 등) 피해로 이어질 수 있는 단계를 나타낸다. 그러므로 대규모 도시에 도로함몰 사고가 발생하면 이에 적합한 현장 대응조직을 가동하여 현장 안전조치를 우선 실시하고, 과거에도 도로함몰 위험지역으로 관리가 이루어지고 있었는지 현장 이력조사가 필요하다. 그리고 지하사고조사 위원회를 수집하여 발생원인 조사, 2차 피해 예방 및 복구 계획 등에 관한 검토를 거쳐 복구업무를 수행 한다. 또한 복구 완료 이후에도 도로함몰 사고 발생 현장 및 2차 피해가 예상되는 지역의 추적 조사가 필요할 것이다. Table 7은 대규모 도시에서 도로함몰 사고 발생시 실무자들이 활용할 수 있는 행동절차 및 체크리스트를 나타낸다.

3.2.3 대규모 피해를 동반한 도로함몰 사고 복구대응

도로함몰 사고 피해 규모는 일반적으로 도시 규모에

비례할 가능성이 크다. 하지만 예기치 않은 원인으로 도시 규모와 상관없이 대규모 피해를 동반한 도로함몰 사고가 발생할 가능성이 있으므로 만일의 상황을 대비할 필요가 있다. 실제 지하안전법 46조제3항에서도 대통령령으로 정하는 규모 『면적 4제곱미터 또는 깊이 2미터 이상의 지반 침하가 발생한 경우, ‘지반침하로 인하여 사망자·실종자 또는 부상자가 3명 이상 발생한 경우, ‘그 밖에 국토교통부장관이 피해의 정도가 중대하여 전문적인 조사가 필요하다고 인정하는 경우』의 사고 발생시 중앙지하사고조사위원회를 구성·운영하여 지자체에서 발생한 도로함몰 사고를 지원하게 하고 있다(Special Act on Underground Safety Management, 2018). 본 연구에서도 도시규모와 상관없이 ‘지하안전법 46조제3항의 대통령령으로 정하는 규모’의 피해를 동반한 도로함몰 사고 발생시 지자체에서는 도로함몰 사고 수습본부를 가동하여 현장 안전 조치를 실시하고

과거에도 도로함몰 위험지역으로 관리가 이루어지고 있었는지 현장 이력조사를 실시하여야 한다. 그리고 피해 상황을 상급기관인 국토교통부에 보고하고 중앙사고 조사위원회를 구축·운영을 지원해야 한다. 그 후 중앙사고조사위원회 운영을 통해 사고원인 분석, 조치 및 사후 대책수립 등의 업무를 수행한다. Table 8은 피해가 큰 도로함몰 사고 발생시 실무자들이 활용할 수 있는 복구업무 행동절차 및 체크리스트를 나타낸다.

4. 결 론

본 연구결과 도출을 위해 서울시, 광역시, 경기도 내 위치한 28개 도시, 중·소규모 15개 도시 50개 도시를 대상으로 지자체별 복구대응 조직 특성 분석, 인구수 및 인구밀도를 분석하였다.

Table 6. Behavioral Procedures and Checklist Items in Middle/Small City Organizations

Action Procedure	Checklist	Remark
<pre> graph TD A([Road Sink]) --> B[Response Organization Operation] B --> C[On-Site Safety Measures] C --> D[On-Site History Survey(Optional)] D --> E[Cause Investigation] E --> F[Recovery and Reporting of Recovery Results] F --> G[Measuring Plan Establishment and Action(Optional)] G --> H{Unusual Situation Occurrence} H -- YES --> I([Restoration]) H -- NO --> I </pre>	<u>Adequacy of Response Organization</u> - Is the organization properly organized for accident response?	Organization Configuration
	<u>On-Site Safety Measures</u> - Did you take safety measures such as emergency measures and restriction of traffic? - Did you report internally?	Safety Measures
	<u>On-Site History Survey(Optional)</u> - Did the area perform road sink risk assessment? - After risk identified, Did the area designate/notify as a central management section? - After notification of the central management section, Did warning sign install there? - After designation of the central management section, Did cause provider take emergency safety measures?	History Survey
	<u>Operation of the Underground Safety Commission or Local Municipal Accident Investigation Team</u> - What is the cause of the accident? - When survey the accident, Did you record the cause of the accident? - Did you order the cause provider to be repaired and reinforced? - Did the cause provider take emergency safety measures without delay? - Did you establish a long-term measurement plan?(Optional) - Did you release the traffic restrictions?	Cause Investigation/Accident Handling
	<u>Follow-Up Management</u> - Has the cause provider reported the results to the head of the local administrative body after accident handling? - Did you find any problems with measurement according to the measurement plan?(Optional) - Does it impose a penalty?	Follow-Up Management

Table 7. Behavioral Procedures and Checklist Items in Large City Organizations

Action Procedure	Checklist	Remark
<pre> graph TD A([Road Sink]) --> B[Response Organization Operation] B --> C[On-Site Safety Measures] C --> D[On-Site History Survey] D --> E[Operation of Underground Accident Investigation Committee] E --> F[Cause Investigation] F --> G{Secondary Damage Occurrence} G -- YES --> H[Emergency Response for Secondary Damage Prevention] H --> I[On-Site Tracking Investigation] I --> J[Recovery Plan Establishment and Recovery] J --> K[Reporting of Recovery Results] K --> L[Measuring Plan Establishment and Action] L --> M{Unusual Situation Occurrence} M -- YES --> N([Restoration]) M -- NO --> N G -- NO --> N </pre>	<u>Adequacy of Response Organization</u> - Is the organization properly organized for accident response?	Organization Configuration
	<u>On-Site Safety Measures</u> - Did you take safety measures such as saving lives, emergency measures and restriction of traffic? - Did you ask related organization(fire department, police station, hospital, etc.) for cooperation? - Did you contact the cause provider when the cause of the accident was easily determinable? - Did you report internally/externally? - Did you report the press?	Safety Measures
	<u>On-Site History Survey</u> - Did the area perform road sink risk assessment? - After risk identified, Did the area designate/notify as a central management section? - After notification of the central management section, Did warning sign install there? - After designation of the central management section, Did cause provider take emergency safety measures?	History Survey
	<u>Operation of the Underground Safety Commission or Local Municipal Accident Investigation Team</u> - What is the cause of the accident? - Have you issued an appropriate evacuation order because of the concern of expanding the damage? - When survey the accident, Did you record the cause of the accident? - Did you order the cause provider to be repaired and reinforced? - Did the cause provider take emergency safety measures without delay? - Did you establish a long-term measurement plan? - Did you release the traffic restrictions?	Cause Investigation/Accident Handling
	<u>Follow-Up Management</u> - Has the cause provider reported the results to the head of the local administrative body after accident handling? - Did you find any problems with measurement according to the measurement plan? - Does it impose a penalty?	Follow-Up Management

Table 8. Behavioral Procedures and Checklist Items in Big Damage

Action Procedure	Checklist	Remark
<pre> graph TD A([Road Sink]) --> B[Response Organization Operation] B --> C[On-Site Safety Measures] C --> D[On-Site History Survey] D --> E[Report by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport] E --> F[Operation of Cooperation System with Central Government Agencies] F --> G[Operation of Central Underground Accident Investigation Committee] G --> H[Cause Investigation] H --> I[Recovery Plan Establishment and Recovery] I --> J[Reporting of Recovery Results] J --> K[Measuring Plan Establishment and Action] K --> L{Unusual Situation Occurrence} L -- YES --> M([Restoration]) L -- NO --> M </pre>	<u>Adequacy of Response Organization</u> - Is the organization properly organized for accident response?	Organization Configuration
	<u>On-Site Safety Measures</u> - Did you take safety measures such as saving lives, emergency measures and restriction of traffic? - Did you ask related organization(fire department, police station, hospital, etc.) for cooperation? - Did you contact the cause provider when the cause of the accident was easily determinable? - Did you report internally/externally? - Did you report the press?	Safety Measures
	<u>On-Site History Survey</u> - Did the area perform road sink risk assessment? - After risk identified, Did the area designate/notify as a central management section? - After notification of the central management section, Did warning sign install there? - After designation of the central management section, Did cause provider take emergency safety measures?	History Survey
	<u>Operation of Central Underground Accident Investigation Committee</u> - What is the cause of the accident? - Have you issued an appropriate evacuation order because of the concern of expanding the damage? - Was the appropriate emergency response? - When survey the accident, Did you record the cause of the accident? - Have the appropriate responses and follow-up measures taken? - Did you order the cause provider to be repaired and reinforced? - Did the cause provider take emergency safety measures without delay? - Did you establish a long-term measurement plan? - Did you release the traffic restrictions?	Cause Investigation/Accident Handling
	<u>Follow-Up Management</u> - Has the cause provider reported the results to the head of the local administrative body after accident handling? - Did you find any problems with measurement according to the measurement plan? - Does it impose a penalty? - Is this the subject of imprisonment?? - Did the Central Accident Investigation Committee submit an accident investigation report within 30 days after completion of accident survey?	Follow-Up Management

도로함몰 사고 복구대응 관련 지자체 행정조직 특성 분석 결과 광역자치단체의 경우 도심지에 건설된 도로 중 일정규모 이상의 도로를 관리하고 있었으며, 도로함몰 사고 발생시 굴착/복구 업무는 산하기관을 두어 수행하고 있었다. 소규모

도로의 경우 기초자치단체에서 도로 관리를 담당하고 있었으며 산하기관이 아닌 직접 도로 관리 관련 부서를 두어 굴착/복구 업무를 수행하는 것으로 나타났다.

인구수 및 인구밀도 분석결과 광역자치단체에 속하는

특별시, 광역시는 인구수 및 인구밀도가 대부분 높게 나타났다. 도의 경우 경기도에 속한 일부 도시들의 인구수가 통상적인 광역시 승격 기준보다 더 높게 나타났으며, 특히 부천시의 경우 전국에서 인구밀도가 가장 높은 것으로 나타났다.

행정조직특성, 인구수 및 인구밀도를 분석한 자료를 이용하여 도시규모 분류 기준 마련을 위해 지자체 실무자 및 전문가 15인을 대상으로 AHP 분석을 실시하였다. 이를 통해 도시규모 분류기준을 제시하였으며, 이 분류기준을 바탕으로 실무자들이 도로함몰 발생시 사고 복구 대응에 활용 할 수 있는 행동절차 및 체크리스트를 제시하였다. 지자체 실무자들은 이를 활용하여 효과적인 도로함몰사고 복구대응 체계를 구축할 수 있을 것이며, 또한 사회적 혼란을 최소화 할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 18TLRP-C099507-04)에 의해 수행되었습니다.

References

- JoongAng Daily. (2017). *Found Large Sinkhole by 6 meters diameter and 2 meters depth in Ulsan*. Retrieved from <http://news.joins.com/article/21697482>.
- Kim, J.Y., Kang, J.M., Choi, C.H., and Park, D.H. (2017). Correlation analysis of sewer integrity and ground subsidence. *Journal of the Korean Geo-Environments Society*, Vol. 18, No 6, pp. 31-37.
- Local Autonomy Act, § 2, 7(1) (2017).
- ME (Ministry of Environment). (2015). *Sewage pipeline scrutiny manual*.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). (2015a). *Development of evaluation and analysis technologies for road sink*.
- MOLIT. (2015b). *Ground subsidence safety management manual*.
- MOLIT. (2015c). *Status of ground subsidence accident*.
- NEWSIS. (2014). *Found additional sinkhole for Seokchon underground road*. Retrieved from http://www.newsis.com/pict_detail/view.html/?pict_id=NISI20140818_0010032419
- Road Act, § 1, 23, 31, 37, 39, 57 (2017).
- SBS CNBC. (2016). *Occurred sinkhole in Busan*. Retrieved from <http://sbscnbc.sbs.co.kr/read.jsp?pmArticleId=10000819824>
- Seong, J.H., Park, W.J., Lee, J.G., and Choi, B.I. (2016). Deriving strategic agenda for response of road sink phenomenon. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 6, pp. 99-104.
- Seoul Metropolitan City. (2014). *'Road depression' cause investigation, a special management measures announced*.
- Seoul Metropolitan City. (2017). *Road management technology white paper*.
- Special Act on Underground Safety Management, § 1, 34, 35, 36, 38, 39, 46(3) (2018).
- Statistics Korea. (2017). *Population density by administrative region*.
- Statistics Korea. (2018). *Population by administrative region*.
- Yonhap News. (2012). *Incheon subway construction site ground subsidence accident*. Retrieved from <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2012/02/19/0200000000AKR20120219013500065.HTML>

Received July 26, 2018

Revised July 26, 2018

Accepted August 13, 2018