

도로함몰 실태와 안전관리 개선 방안

배윤신¹, 김균태^{2*}, 이상염³

¹서울연구원 안전환경연구실, ²한국건설기술연구원 건설시스템연구센터, ³인덕대학교 건설정보공학과

The Road Subsidence Status and Safety Improvement Plans

Yoon-Shin Bae¹, Kyoon-Tai Kim^{2*}, Sang-Yum Lee³

¹Dept. of Safety and Environment, The Seoul Institute

²Construction System Research Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

³Dept. of Construction Information Engineering, Induk University

요약 함몰은 싱크홀, 포트홀, 구조물 침하, 도로함몰 등을 발생시킨다. 도로함몰은 지표수 근처 석회암이 녹아 동공이 생기고 지지력 저하로 인한 도로표면의 급작스런 붕괴로 기술된다. 도로함몰은 서울시에서만 2010년 이후 연평균 약 665건 발생하였고 2013년까지는 발생빈도가 증가하였다. 서울 지역에서 발생하는 도로함몰의 주된 원인은 지하 시설물의 파손 및 관리 소홀과 지하수위 강하 등이다. 이에 서울시에서는 여러 기관과 공동연구 및 탐사를 통해 원인을 규명하고 통행자들이 안심할 수 있도록 안전관리방안에 대한 특별대책을 수립하여 발표하였다. 도심지의 경우 주로 굴착복구 공사에서 도로함몰이 발생할 수 있기 때문에 공사장에서의 올바른 관리는 필수적이다. 본 연구의 목적은 도로함몰의 주된 원인을 파악하고 이에 대한 대책 및 관리방안을 제시하는 것이다. 이를 위하여 생애주기비용 분석을 통해 주야간공사 시행의 필요성을 제기하였다. 또한 모래를 뒤채움재로 사용하는 경우의 한계점을 분석하여, 모래 대신 유동성 뒤채움재를 활용할 것을 제안하였다. 마지막으로 지방자치단체들의 도로탐사 사각지대를 줄이기 위하여, 권역으로 구분하고 권역별로 외부전문기관과 협업하여 탐사하는 방안을 제시하였다.

Abstract Ground subsidence can result in the formation of sinkholes, potholes, settlement of structures, and road subsidence. Road subsidence is described as the sudden collapse of the road surface into subsurface cavities caused by the loss of bearing capacity in the ground, such as the dissolution of limestone by fluid flow in the surface causing the formation of voids leading to subsidence at the surface. Road subsidence occurs about 665 times annually, and this incidence has been increasing until 2013. Damaged underground facilities, management negligence, and lowering of the ground water table have been the causes of road subsidence in Seoul. Seoul metropolitan government announced special management counter plans to relieve the anxieties and make the roads safe for passing. Construction sites, such as excavation works, need to be managed properly because they have strong potential to induce road subsidence.

The aim of this study was to identify the main causes of road subsidence and suggest management plans. First, life cycle cost analysis revealed the daytime construction to be more appropriate than nighttime. In addition, by analyzing the limitations of using sand as a backfill material, it is proposed to use a flowable backfill material instead of sand. Finally, to reduce the blind spots, which is a problem in surveying the road pavement conditions of local governments, the road to be managed is divided into several zones, and a specialized agency is selected for each zone and a method of surveying the blind spots through collaboration is suggested.

Keywords : backfill material, compaction, excavation work, road subsidence

본 논문은 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01) 및 한국건설기술연구원 개방형연구 활성화사업(건설정책연구소)(20160147-001)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyoon-Tai Kim (KICT)

Tel: +82-31-910-0420 email: ktkim@kict.re.kr

Received October 19, 2016

Revised (1st November 2, 2016, 2nd December 5, 2016, 3rd December 16, 2016)

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도심지 재난의 한 형태로 도로함몰이 빈번히 발생하고 있다. 우리나라는 동공이 발생될 수 있는 자연적 원인인 석회암층이 매우 적으며, 주로 화강편마암 지질로 구성되어 있기 때문에, 미국 플로리다와 같은 자연발생적인 대규모의 싱크홀이 발생하기는 어렵다. 일본의 경우는 오사카 한난시의 주택지에서 함몰이 발생(2008.5)하였고 세다이시 이즈미 파크타운에서도 배수관 파손으로 인한 함몰이 발생(2009.9) 한 바 있다. 그 외에도 2009년 4월 홋카이도 아비라초 골프장에서 함몰 사고가 있었다. 일본 도쿄도에서는 2001년부터 2009년까지 발생한 1018건의 함몰의 주된 발생요인을 점용 매설물 파손이라고 발표한 바 있다.

국내의 경우 인구가 밀집되어 있는 인천지하철도 2호선 공사장 등에서도 하수관 손상, 굴착공사 등 인위적인 원인에 의해 동공이 발생하였고 도로함몰의 형태로 발전되었다. 그리고 우리나라의 수도권인 서울시 전역에서 크고 작은 도로함몰은 2010년 이후 연평균 약 665건이 발생하고 있다. 최근 도로함몰 발생사례로는 2016년 효창공원역과 2015년 신논현역, 삼성중앙역, 신촌 및 용산 인근의 도로함몰 등을 들 수 있다. 또한 초고층 건물이 준공 예정인 송파구에 도로함몰이 집중적으로 발생하여 시민의 불안감이 증폭되었다. 이러한 불안감을 해결하기 위해 지방자치단체에서는 처음으로 서울시가 도로함몰 특별관리대책을 발표(2014.8.28.)하면서, 도로함몰 관리를 선도하고 있다.

한편 2014년에 발생한 석촌지하차도 하부동공과 같이 시민들이 밀집한 도심지 도로에서 함몰이 발생하면 인적, 물적 피해로 이어질 수 있다. 그런데 서울시를 예로 들면, 관리대상 도로의 함몰 발생건수의 절반이상인 15건이 굴착공사로 인하여 발생한 것으로 알려져 있다. 이에 서울시는 여러 기관과 공동연구 및 탐사를 통해 원인을 규명하고 관리방안을 수립·활용하고 있다. 그러나 체계적인 종합정리와 분석이 다소 부족하여 안전관리 실무 활용에 다소 한계가 있는 실정이다. 따라서 생애주기 비용이나 새로운 재료 등 다양한 관점에서 도로함몰 대책을 접근해 볼 필요가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 도로함몰의 주된 원인을 파악하고 이에 대한 대책 및 관리방안을 체계적으로 정

리·분석하는 것이다. 이를 통하여 시민들의 안전도와 실무자의 업무효율성을 제고하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도심지 공사 등이 원인이 되어 발생하는 도로함몰인 침하와 동공만을 대상으로 연구를 수행하였다. 따라서 자연적으로 발생하는 싱크홀이나 단지 도로표면만의 손상인 포트홀은 제외한다. 그리고 도로함몰 대책과 관련된 제도 및 기준의 개정방안을 제시하는 것을 본 연구의 범위로 한다. 지역적으로는, 우리나라의 대표 도시인 서울특별시를 연구 대상구간으로 선정하였다. 왜냐하면 서울특별시는 유동인구가 많고 안전에 대한 시민과 정부의 관심이 높으며, 실제 도로함몰 발생구간에 대한 원인별 사례조사가 전문적으로 분석되어 있어 유용한 자료가 타 도시에 비해 월등히 많기 때문이다.

본 연구의 방법은 우선 문헌조사를 통해 서울시 도로함몰 발생현황과 원인을 분석한 다음 전문가 인터뷰 결과 등을 활용하여 도로함몰 안전관리의 문제점을 도출한다. 마지막으로 도출된 문제점들에 대하여 각각 대안을 제시한다.

2. 서울시의 도로함몰 발생현황

2.1 발생현황

서울시 전역에서 일어난 크고 작은 도로함몰은 최근 5년 동안에 연간 약 665건 발생하였다. 이러한 발생빈도는 2013년까지는 증가하다가, 그 이후로는 감소하는 추세이다

지역별로는 하천 매립지가 많고 사질토 위주인 송파구에서 가장 많이 발생하였다. 계절별로는 집중호우가 발생하는 여름에 발생빈도가 높았다. 그리고 지질별로는 호상 편마암지역에서 가장 많이 발생한 것으로 나타났다 [1].

도로함몰 발생규모를 보면, 대부분이 면적 1㎡, 깊이 1m미만인 소규모이다. 현재 서울시에서는 보행 및 교통 안전을 감안하여 가로 2m, 세로 2m 이상 규모의 도로함몰은 특별관리대상으로 관리하고 있다. 2010년 이후에 특별관리대상인 도로함몰이 총 15건이 발생하였는데, 현재는 모두 보수가 완료되어 있는 상태이다.

서울시에서 발생한 도로함몰 발생 장소는 Fig. 1과 같

이 손상된 하수관 구간, 손상된 상수관 구간, 굴착공사 인접구간으로 분류할 수 있다. 이들 중, 손상된 하수관 구간이 2,704개소(81.5%)로 대부분을 차지하고 있다.

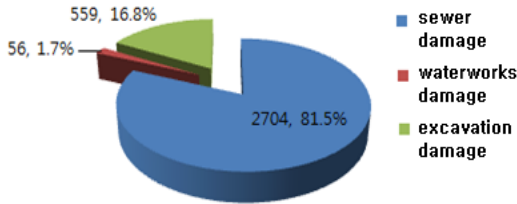


Fig. 1. Section analysis of road subsidence

2.2 발생원인

조사결과, 도로함몰의 주요 원인은 하수관 노후 및 손상, 굴착공사 관리소홀, 굴착공사로 인한 지하수위 저하 등인 것으로 나타났다[2].

2.2.1 하수관 노후 및 손상

하수관 노후 및 손상이 발생하는 주요원인은 관내부 부식으로 인한 균열, 관의 어긋남, 접합불량, 관 주변 굴착공사, 퇴메우기 중 과도한 하중 등이다. 하수관 노후 및 손상으로 발생하는 도로함몰은 규모가 작은 경우가 대부분이며 [3]하수관 손상은 액상화, 산사태, 지표운동 등에 의한 변형과도 밀접한 관계가 있다 [4]. 서울시의 상·하수관로 설치현황을 보면, 2014년 현재 20년 이상인 관로가 약 58.2%를 차지한다. 따라서 하수관 노후 및 손상으로 인한 도로함몰 발생을 증가시킬 우려가 있다.(Fig. 2 참조)



Fig. 2. Road subsidence caused by pipe damages

2.2.2 굴착공사 관리소홀

굴착공사 관리 소홀은 지하굴착 전 충분한 사전 조사가 이루어지지 않고 지반보강공사가 부실하여 도로함몰 발생의 원인이 되는 것을 말한다. 굴착 시 지반이 교란되는 경우에는, 토사가 유실되어 도로가 함몰되게 된다. 따라서 이러한 경우에는 비교적 큰 규모의 도로함몰이 발생하게 되므로, 사전 지반조사 및 철저한 공사관리 감독이 필요하다.

2.2.3 굴착공사로 인한 지하수위 저하

굴착공사로 인한 지하수위 저하는 미세 공간이 많은 모래지반 등에 고인 지하수를 펴평할 경우 수위가 낮아지면서 침하가 발생하는 경우를 말한다. 일반적으로 지하수가 빠져나가는 경우에 토사도 함께 유출되게 되는데, 이러한 토사유출이 도로함몰의 원인이 된다[5,6].

2.3 도로함몰 특별관리 대책 사례

서울시에서는 최근 잇달아 발생하는 도로 함몰에 대한 시민들의 불안을 조기에 해소하고 보다 안전하게 통행할 수 있는 도로환경을 조성하고자, 2014년 8월에 '도로함몰 원인조사·특별관리 대책'을 수립하여 발표하였다. 이 발표의 주요 내용은 ① 석촌지하차도 동공 발생원인 ② 복구 및 주민안심, 타 지하철구간 안전대책 ③ 3대 발생원인 별 「서울시 도로함몰 특별대책」 ④ 도로파손 패러다임을 신고 전 사전탐지로 전환 ⑤ 시민 정보공유 및 정책참여 활성화이다.

그러나 노후 하수관로 손상 외에도 굴착공사 현장에서 도로함몰이 증가하고 있다. 따라서 굴착공사장에 대한 철저한 관리가 필요하여, 추가적인 보완대책을 수립하였다. 이를 정리하면 Table 1.과 같다.

3. 도로함몰 안전관리 문제점

본 연구에서는 서울시에서 관리대책을 수립한 사례를 검토하고, 전문가들과 심층 인터뷰하여 도로함몰 안전관리의 문제점을 조사하였다. 인터뷰 대상은 서울시 도로관리분야 관계자 25명 및 학계전문가(교수 및 연구원) 5명으로, 해당분야 경력이 10년 이상으로 선정하였다. 항목은 제도적 분야와 기술적 분야로 분류하였다. 즉, 현행 야간에만 실시하는 굴착복구 공사를 주간에도

허용함으로써 시공품질을 향상시키는 방안제시와 굴착 복구 이후 되메움 다짐효과를 극대화 할 수 있는 유동성 뒤채움제의 활용방안에 대한 것들이다. 조사 방법은 2015년 9월 1개월 동안 각각 개인별 대면인터뷰로 진행하였다. 그 결과 서울시의 관리대책에서 「굴착공사 시 되메우기에 대한 대책」 과 「이면도로와 보도 등에 대한 관리 사각지대의 해소방안」 이 다소 미비한 것으로 파악되었다. 따라서 이들에 대한 심도있는 분석의 필요성이 제기되었다.

Table 1. Safety management policies of road subsidence in Seoul

Main policy	Content
Management reinforcement of worn-out sewage pipe lines	-Investigation expansion on worn-out sewage pipe line -Maintenance priority for worn-out sewage pipe line over 50 years old (supported by Government expense) -Process improvement for accuracy of computer systems for sewage management
Management reinforcement of groundwater	-Compulsory effect examination on large excavation work and groundwater
Management reinforcement of excavation work	-Total inspection on the alluvial layered tunnel section -Recruiting full-time supervisor for road subsidence in the construction -Investigation system for excavation for construction permits -Site inspection reinforcement on excavation work site -Compaction field measurement for faulty compaction inspection -Introduction of refilling method for narrow and deep sections
Pre-detection activity reinforcement	-Expansion of cutting-edge equipment -Patrol reinforcement involving residents, taxi drivers, and public officials
Task force/Budget expansion plan	-Expansion of personnel for road subsidence -Education program development by Human Resources Development Institute
Solution to civil complaints/advertisement plan	-Making and opening videos related to road subsidence -Holding information sessions and distributing information leaflets about signs -Providing online discussion forums about road subsidence for citizens on Facebook

3.1 굴착공사 시 되메우기 불량

3.1.1 제도적 문제점

현행 도로법 시행령 제54조 5항 및 별표 2를 보면, 굴착공사의 시기는 “가능한 한 교통량이 적은 시간대에 공사를 할 것”으로 되어 있다. 한편 서울시 도로굴착·복구

업무 처리규칙 별지5호 서식<허가조건> 2항에는 ‘굴착·복구는 당일 작업이 가능한 계획을 수립·시행’하도록 되어 있다. 따라서 이 두 규정을 모두 만족시키려면 교통량이 적은 시간대에 당일에 작업이 가능한 계획을 수립하여야 한다. 그런데, 공사 여건상 시간이 많이 소요되는 작업의 경우, 당일 교통량이 적은 시간대 내에 작업을 완료하기가 어려워진다. 그리고 이러한 경우, 작업시간이 부족하게 된다.

작업시간이 부족하면 복구공사의 품질이 저하될 가능성이 높아지고, 공사품질이 저하되면 토사유실 또는 장기침하 등이 발생할 확률 역시 높아지게 된다. 그리고 이러한 토사유실 또는 장기침하는 도로함몰의 원인이 되고 있다. 특히 야간공사에서, 새벽 교통개방을 위해 다짐이 용이한 모래 물다짐으로 복구하는 경우가 많은데, 이와 같이 복구된 지반에서 모래 유실로 인한 함몰이 발생할 수 있다. 왜냐하면 복구위치 부근에 하수관이 손상되거나 불량매립체가 있는 경우, 급속한 모래 유실이 일어날 수 있기 때문이다.

3.1.2 다짐재료의 문제점

도로하부 지하매설물의 설치과정은 기존의 도로 또는 지반을 굴착한 후, 굴착면을 정리하고, 콘크리트 또는 모래를 이용하여 베딩재(bedding material)를 설치하고, 이 위에 지하매설물을 설치한다. 그리고 지하매설물 설치가 끝나면 굴착된 나머지 부분에 뒤채움을 실시한다.

그런데 뒤채움제의 밀도를 확보하기 위해서는 일정규모 이상의 다짐장비를 이용하여야 한다. 그런데 도심지 굴착공사 여건상 다짐장비를 운용할 공간이 충분하지 않아 관 접촉부위나 관하부의 틈새를 밀실하게 다짐하는 것이 매우 어렵다. 특히 원형 지하 매설관의 경우나 지중 매설관이 중첩되어 있는 경우에는 이러한 어려움이 더욱 커지게 된다. 따라서 장비에 의한 뒤채움재 다짐보다는 모래 물다짐 공법을 적용하도록 규정하였다.

그러나 이와 같은 모래 물다짐 공법도 지지력을 확보할 만한 밀도로 다지기에는 충분하지 않다. 이와 같이 다짐효율이 저하되면 지하매설물의 안정성이 저감되고, 이로 인해 지하매설물에 각종 파손이 발생되어 도로함몰의 원인을 제공하게 된다. 또한 관로의 다짐작업 시 현장다짐에너지에 의해 발생하는 추가 하중 역시 구조물에 토압증가 효과를 유발한다.

3.2 도로함몰 조사 사각지대의 문제점

서울시에서는 노면하부 동공탐사에 대한 조사계획을 단계별로 수립하여, 현재 용역 추진 중에 있다. 서울시의 사례는 지방자치단체들 중 가장 앞선 것임에도 불구하고, 국도와 시도 및 구도의 차로만을 탐사 대상으로 하고 있다. 따라서 이면도로 같은 안전사각 지역은 조사가 이루어지고 있지 못하다는 한계가 있다.

이면도로는 일반적으로 도로의 폭이 좁고, 차량의 통과와 목적으로 통행하지 않으며, 대부분 보도와 차도의 구분이 없는 주택가나 동네길 등이 있다. 서울시의 2015년 통계연보에 따르면, 폭원별 도로 현황을 보면 이면도로 등의 소로가 약 77%를 차지하고 있어서 이에 대한 조사가 이루어져야 한다.

4. 도로함몰 안전관리 개선방안

4.1 굴착공사 시 되메우기 불량

4.1.1 제도적 문제점 해결방안

교통량이 많은 곳에서 굴착공사를 실시할 경우, 공사는 야간시간대에 집중적으로 이루어지고 있고 당일 작업을 목표로 시행되고 있다. 그러나 필요한 경우에는 전면 통제와 충분한 시간 확보 등 품질확보방안이 마련되어야, 굴착복구의 품질저하로 인한 도로함몰을 예방할 수 있다. 그리고 이와 같은 품질확보방안이 장기적 관점에서는 오히려 경제적이 될 수 있다.

본 연구에서는 이에 대한 경제성 분석을 위하여 생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC)을 분석하였다. 분석을 위하여 생애주기비용분석 프로그램인 Real Cost를 사용하였다. 분석대상은 통행량이 비교적 많은 종합운동장 백제고분로와 동대문 국민은행 앞 도로로 하였다. 분석대상 공사로는 해당 구간에서 굴착공사로 인해 1개 차로가 통제되는 경우로 하였다. 교통량 입력변수는 Table. 2에 정리를 하였다. 여기에서 AADT(Annual Average Daily Traffic volume)는 연평균 일교통량으로, 1년간의 전 교통량을 그 해의 일수로 나눈 값이다. 이 값은 서울시의 홈페이지에서 해당지역 2015년도 유입 및 유출량 합산하여 산출하였다. 또 vphpl(vehicle per hour per lane)는 차선·시간당 평균교통량을 말한다.

Table. 2. Input variables related to traffic

	Input variables
Complex AADT[7]	40,173
Dongdaemun AADT	40,207
Speed limit (km/h)	60
Speed on construction (km/h)	16
Truck percentage (%)	Truck (0.574), Combinded truck(0.062) [8]
Vehicle increase (%)	0.55
Waiting traffic (vphpl)	1700 [9]
Free traffic (vphpl)	2170

아스팔트 콘크리트 재료비는 제곱미터 당 32,000원으로 책정하였다[10]. 그리고 서울시의 사업소에서 공사비 산정시 적용하는 가정법에 따르면, 도로포장 유지보수공사에서 재료비가 60%를 차지하고 시공비(노무비 및 경비)가 40% 수준이다. 따라서 본 연구에서도 재료비와 시공비를 각각 전체 공사비의 60%, 40%로 가정하였다. 또 굴착복구 공사에 따른 경제성 분석을 위하여, 다음과 같이 환경조건을 설정하였다[4].

첫째, 1개 차로만 교통이 통제된다.

둘째, 해석기간은 30년으로 제한하였다.

셋째, 공용수명은 10년마다 보수가 이루어진다.

넷째, 야간 굴착복구 공사(이하 야간공사라 함)는 22시부터 익일 06시까지 실시되어 8시간 동안 차로가 통제되며, 주야간 굴착복구 공사(이하 주야간공사라 함)는 24시간 동안 교통이 통제된다.

다섯째, 1일은 24시간이므로, 1일 동안 수행하는 주야간공사와 3일 동안 수행하는 야간공사(8시간/일 공사수행)가 동일한 생산성을 갖는다.(Table. 3)

Table. 3. Comparison of working days on construction

	Construction-at-day and night	Construction-at-night
24hr	1 day	3 days
48hr	2 days	6 days
72hr	3 days	9 days

종합운동장 백제고분로를 대상으로 분석한 결과, 이용자 비용은 교통량이 적은 시간대에만 교통통제 하는 야간공사가 비용손실이 적은 것으로 나타났다. 하지만 관리자 비용 측면에서 보면 주야간 공사가 경제적인 것

으로 분석되었다. 이를 종합하여 총비용을 보면, 대부분의 경우에 주야간 공사가 경제적인 것으로 분석되었다.(Fig. 3 참조)

동대문 국민은행 앞 도로를 대상으로 분석한 경우에서도, 통제의 영향이 상대적으로 적은 야간공사가 이용자 손실이 적은 것으로 나타났다. 그러나 관리자 비용은 주야간 공사가 경제적이었다. 따라서 총비용은 주야간 공사가 경제적인 것으로 판단된다.(Fig. 4 참조)

생애주기 분석 결과를 종합해 보면, 주야간공사가 야간공사보다 생애주기비용이 적은 것으로 나타났다. 따라서 도로법 시행령 제54조 5항 및 별표 2의 굴착·복구공사의 시기는 ‘가능한 한 야간시간대 등 교통량이 가장 적은 시간대에 공사를 할 것’이라는 조항은 개선될 필요가 있다. 또한 ‘굴착·복구는 당일 작업이 가능한 계획을 수립·시행’하도록 되어있는 서울시 도로굴착·복구업무처리규칙 별지5호 서식<허가조건> 2항도 검토되어야 할 것이다. 특히 야간작업의 특성으로 인하여 품질이 저하될 우려가 있다는 점을 감안하면, 주야간공사 시행의 필요성이 구체적으로 논의되어야 할 시점이라 판단된다.

4.1.2 다짐재료의 문제점 개선방안

전술한 바와 같이, 도심지 관거 등 지하매설물 유지관리를 위한 굴착·복구 공사를 수행할 때, 모래 등 토사로 되메우기하는 경우가 많다. 그러나 토사 되메우기로는 충분한 지지력을 확보하기 어려운 실정이다. 그리고 모래 등의 재료를 대체할 수 있는 재료로는 유동성 채움재가 있다.

유동성 채움재(controlled low strength materials)란 가소성 뒤채움재라고도 하며, 유동성 및 신속경화성을 갖고 있어 구조물의 배면 및 하부 뒤채움 시공시 다짐이 필요없는 재료를 말한다. 따라서 시공 시 장소의 제약이 적으며 다짐이 필요 없기 때문에 비용절감, 작업자의 안정성 증진, 시공의 단순화로 인한 인력감소 등의 장점이 있다 또한 재활용 재료를 첨가함으로써 친환경재료도 사용이 가능하다. 또한 유동성 채움재는 빨리 굳는 속경성을 띄고있어 긴급한 공사에 유용하게 활용할 수 있다. 그리고 굳은 후에는 물속에서 분리가 일어나지 않는 특성 때문에 지하수가 유입되어도 유실되지 않아, 동공 발생을 최소화하는 역할을 한다.

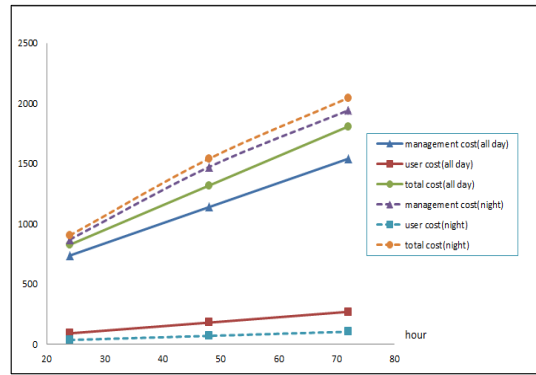


Fig. 3. Economic analysis based on traffic control on the road in front of in Sports Complex

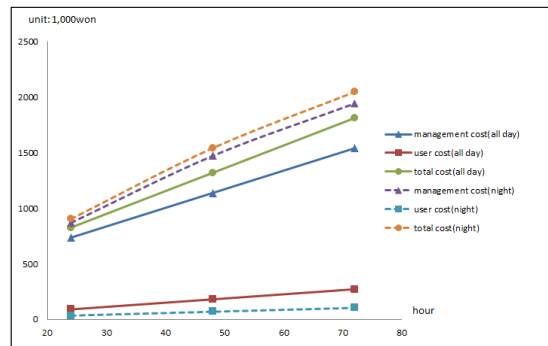


Fig. 4. Economic analysis based on traffic control on the road in front of Kookmin bank Dongdaemooon

특히 서울시와 같은 도시 지역은 주택이나 지하 설비가 밀집해 있다. 따라서 하수관로를 설치할 때, 넓은 공간이 필요한 다짐 작업이 불가능한 경우가 많았다. 하지만 가소성 뒤채움재는 별도의 다짐 과정이 필요 없으므로, 공간이 협소한 지역에서도 하수관로를 설치할 수 있다. 다시 말하면 유동 상태의 가소성 뒤채움재는 협소한 지역에서도 간편하게 필요 공간을 채울 수 있고, 콘크리트만큼 딱딱하게 굳지는 않기 때문에 추후 노후 하수관로 보수·교체 시에도 재굴착 작업을 쉽게 진행할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 토사로 되메우기 하도록 되어 있는 규정을 개정하여, 되메우기 작업에 유동성 뒤채움재를 활용하는 방안을 제안한다. 예를 들면, 서울특별시 도로복구 원인자부담금 징수 조례 별표 3에 되메우기는 모래 등 토사로 하도록 되어있는데, 이를 개정할 필요가 있다는 것이다. 왜냐하면 유동성 뒤채움재는 모래 및 토사에 비해 다짐 효과 및 되메움 효과가 탁월하여, 도로합

몰의 발생을 예방하고 관로를 보호하는 데에 효과적이기 때문이다.

4.2 도로함몰 탐사 사각지대 조사방안

전술한 바와 같이, 현재 도로함몰 탐사는 서울시가 선도하고 있다. 현재 서울시 도로관리과와 도로포장연구센터는 공동으로 도로함몰에 대하여 탐사를 진행하고 있는데, 선도하는 지자체인 서울시에서조차도 그 대상에서 이면도로가 제외되어 있는 상황이다. 본 장에서는 이와 같이 안전사각지대에 대한 해결 방안을 제시하고자 한다.

4.2.1 도로함몰 탐사 실태

서울시내 도로의 관리주체는 서울시 산하 6개 사업소, 시설관리공단, 종로 등 25개 구청이 있다. 6개의 도로사업소는 서울시의 주간선도로와 보조간선도로를, 시설관리공단에서는 도시고속화도로 전 노선을, 그리고 25개 구청은 구도를 각각 유지관리하고 있다.

한편 포장노후화와 관련된 유지보수가 아닌, 도로함몰의 경우는 2014년 8월 '도로함몰 원인조사·특별관리 대책' 이후에야 본격적인 계획이 수립되고, 탐사가 시작되었다. 도로함몰 탐사는 GPR(Ground Penetrating Radar)장비를 활용하며, GPR 장비의 조사속도, 정밀도, 해석속도가 탐사효율을 좌우한다. 그런데 서울시 도로관리과 주관하에 서울시 품질시험소 도로포장연구센터가 보유한 GPR 장비는 2015년말 현재 일본 등의 선진국 대비 탐사정확도 20% 수준이었다. 따라서 2015년 말 현재 전체 서울특별시도의 1차로환산연장의 약 10%에 해당하는 678km를 탐사하였다.

특히 서울시에서는 주요간선도로 함몰 개연성이 높은 구간 불량노후하수관 구간, 지하철구간, 연약지반 4.373km를 중점관리구간으로 선정하고, 3년주기 탐사계획 하에 탐사를 실시하고 있다. 즉 2015년에 614km, 2016년에 1,888km, 2017년에 1,871km를 탐사한 후, 2018년 이후에는 관리개념으로 전환하여 매년 1,500km를 주기적으로 탐사할 예정이다. 그러나 서울시 보유장비는 1대뿐이고 조사용역업체가 보유한 장비도 극소수에 불과하여, 구도는 거의 탐사되지 못하고 있는 실정이다.

4.2.2 구도 탐사 방안

본 연구에서는 지방자치단체들이 관리지역을 권역으

로 분류하고, 권역 관리를 위하여 관내 대학, 연구소 등을 활용할 것을 제안한다. 서울시를 예로 들면, 기존에 서울시 도로관리가 6개의 사업소 중심으로 이루어져 있으므로, 이면도로 관리를 위해서도 서울시를 6개의 권역으로 구분하는 것이 바람직하다(Fig. 5. 참조). 이렇게 구분하여 이면도로를 관리할 경우, 6개의 도로사업소가 관찰하고 있는 구청을 기준으로 권역을 분류하면 관리상 일관성이 있게 된다. 이와 같은 권역을 조사·관리하는데 있어서 기존의 도로사업소나 시설관리공단은 인적, 물적 자원이 거의 없는 상황이다. 이러한 자원부족을 보완하기 위해서는 6개 권역 인근에 위치한 대학, 연구소 등을 활용할 수 있을 것이다. 일례로, 수도권 인근에는 Fig. 5.와 같이, 도로포장연구소를 보유하고 있는 대학이 6개 있다. 이들 6개 대학들과 연계한다면, 인적, 물적 자원의 부족문제를 어느 정도 해소할 수 있을 것이다. 탐사장비는 각 대학들이 보유하고 있는 GPR을 활용할 수 있으며, 보유하지 못한 대학들의 경우는 탐사업체로부터 대여하여 사용하도록 한다.

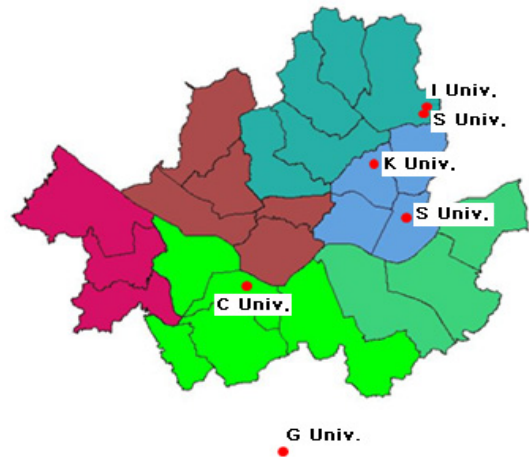


Fig. 5. Plan of investigation zones and locations of colleges

5. 결론

본 연구에서 기존에 서울시 등에서 발표한 도로관리 대책을 검토하고, 관련부서, 전문가 인터뷰한 결과, 「굴착공사 시 되메우기에 대한 대책」과 「이면도로와 보도 등 관리 사각지대 해소대책」의 필요성이 제기되었다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 보완방안을 제시하였

다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 법령, 조례, 기준 등의 개정을 위한 굴착공사 시 되메우기 작업에 대한 패러다임의 변화가 필요하다. 작업시간의 경우, 필요시에는 전면 통제와 충분한 시간 확보가 이루어져야 굴착복구의 품질저하로 인한 함몰을 예방할 수 있다. 또한 다짐불량으로 인한 도로함몰을 예방하기 위하여 되메우기 시 사용하는 재료도 개선이 필요하다. 즉 모래 및 토사대신에 다짐 효과 및 되메움 효과가 탁월한 유동성 뒤채움재 등을 적극 활용할 필요가 있다.

둘째, 구도 등 도로함몰 탐사 사각지대가 해소되어야 한다. 예를 들어, 현재 서울시에서 추진 중인 노면하부 동공탐사 종합계획에는 구도와 보도가 대상에서 누락되어 있는데, 이러한 누락 구간에 대하여 서울시 전역을 6개의 권역으로 나누어 관리할 것을 제안하였다. 이렇게 관리되면 기존 유지보수 관리체계와 일관성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수도권의 도로포장관련 학·연 전문가관들을 활용하면 전문성이 제고되고, 인적·물적 자원 부족 문제를 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Risk analysis of road subsidence and development report", 2016.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Safety management manual of road subsidence", 2015.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Investigation of sinkhole and policy suggestions", 2014.
- [4] S.S. Jeon, "Permanent Ground Deformation Effects on Underground Wastewater Pipeline Performance", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol.17, no. 1, pp. 284-289, 2016.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.1.284>
- [5] Seoul Metropolitan Government, 「Road excavation and backfill construction safety guide」, 2014.
- [6] Seoul Metropolitan Government, 「Road subsidence management manual and measures in Seoul」, 2015.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Vehicle guide", 2006.
- [8] Seoul Metropolitan Government, 「Asphalt design manual in Seoul」, 2014.
- [9] Caltrans, "Life-cycle cost analysis procedures manual", 2007.
- [10] Seoul Metropolitan Government, 「Guideline for construction expenses arrangement of Seoul public buildings」, 2009.

[11] <http://stat.seoul.go.kr>

[12] <http://surveycp.seoul.go.kr>

배 윤 신(Yoon-Shin Bae)

[정회원]



- 2007년 12월 : Utah State Univ. 토목공학과(박사)
- 2010년 5월 ~ 현재 : 서울연구원 연구위원
- 2008년 10월 ~ 2010년 4월 : 한국해양과학기술원 postdoc

<관심분야>

시설물 안전관리, 지반진동, 사방구조물

김 균 태(Kim-Kyoon Tai)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설시스템연구센터 연구위원
- 2006년 6월 ~ 현재 : 한국건설VE연구원 이사

<관심분야>

건설관리, 건축시공, 건설자동화

이 상 염(Sang-Yum Lee)

[정회원]



- 2000년 8월 : 경희대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 12월 : 미국 North Carolina State Univ.(공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2014.3 : 서울특별시청 도로관리과 및 도로포장연구센터
- 2014년 4월 ~ 현재 : 인덕대학교 건설정보공학과 조교수

<관심분야>

건설재료, 도로포장 유지관리, 도로함몰