

제주시 안전한 도로환경조성을 위한 정책 제언

포트홀 관리 대책을 중심으로

김 은 경*

< 목 차 >

- | | |
|-------------------|--|
| I. 서론 | Ⅲ. 제주시의 안전한 도로를 위한 관리 현황
및 개선방안
(참고문헌) |
| Ⅱ. 선행연구 및 타 지역 사례 | |

< 국문 초록 >

국내외에서 도로의 안전환경을 사전에 점검하지 못하여 발생하는 안전사고가 점차 증가하고 있는 실정이다. 특히, 최근에는 눈으로 직접 볼 수 없는 지하의 빈 공간이 꺼지거나 도로노면이 우기에 손실되어 대형 참사를 일으키는 경우도 흔히 발생하고 있다. 이 같은 현상이 더욱 안타까운 것은 눈으로 보고 확인할 수 있는 불편함을 즉시 해결하지 않아서 발생하는 안타까운 인명 및 재산 피해들이기 때문이다.

제주시는 2018년 올해, 동절기 이후 도로 안전성을 전수조사 한 결과, 심각한 상태의 포트홀은 620개 소 발견하여 응급보수를 실시하였다. 본고에서는 제주의 포트홀과 관련된 현 시점의 관리체계 및 국내외 선행사례 분석을 바탕으로 기반침하 관련 도로 안전환경 정책을 벤치마킹하였다. 최종적으로 제주시의 도로안전 환경 개선을 도모하기 위한 장기적인 도로안전 관리 방안을 모색하고자 한다.

연구 결과, 제주시는 이제 곧 도입하는 도로포장관리시스템(PMS)을 최신 기술과 접목

* 서울대학교 국토문제연구소 객원연구원

하여 더욱 정확한 지하위치정보 및 지상 정보를 더할 수 있는 3차원 지상지하 공간정보를 취득할 필요가 있겠다. 뿐만 아니라 이를 더욱 적극적으로 행정 실무에 반영하고, 이러한 체계를 위한 법제도 개선이 함께 이루어질 필요가 있다.

이 같은 제도 개선 및 시계열적 자료를 활용한 도로환경 개선이 이루어질 때, 제주시는 지금보다 더 안전한 도로환경 조성을 통해 도민과 관광객의 안전을 보장할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 포트홀, 지반침하, 포장관리시스템 (PMS: Pavement Management System), 지표투과레이더 (GPR: Ground Penetration Radar), 이동형매핑시스템 (MMS: Mobile Mapping System)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

2018년 3월 14일, 제주특별자치도에 따르면 제주시와 서귀포시의 두 곳 행정시의 동절기 제설기간이 마무리됨에 따라 도로의 공용성 및 안전성을 위해 각 도로관리청별로 전수조사반(8개 반, 24명)을 편성, 도 전역 도로에 대한 포트홀, 균열, 변형, 침하 등에 대하여 조사하고 보수공법 및 소요예산을 검토 결과 구 국도(5개 노선) 12.8km에 0.84km², 지방도(11개 노선) 25.5km에 0.9km², 시·군도(78개 노선) 12.3km에 0.34km², 마을안길 등(100개 노선) 55.8km에 0.21km²가 파손된 것으로 파악되었다.

이에 따라 제주특별자치도는 겨울철 폭설 등으로 인해 발생한 심한 포트홀 620개소에 대한 응급보수를 실시하고, 제주도 전역 도로에 대한 복구계획을 수립하고 도로 유지보수 공사를 조속히 시행하였다. 또한 추가 발견되는 포트홀은 시민들의 안전을 위하여 도 및 행정시 별로 기동 보수반을 상시 운영하여 보수를 마무리한 바 있다.

전국적으로 포트홀 및 싱크홀과 유사한 지반 균열로 인한 지반침하(함몰)현상이 서울을 비롯하여 전국 각지에서 발생하고 있다.

실제로 2014년 8월, 서울시 송파구 석촌호수에서는 지반침하(함몰)현상이 발생하면서 지반의 안정성에 대한 사회적 관심이 고조된 적이 있다. 특히 2014년 6~8월 간 서울에서 발생한 10건의 지반침하(함몰) 중 5건이 송파구에서 발생했는데 인근 제2롯데월드 신축과 석촌호수에 수위저하 등과 맞물려 사회적 이슈가 되었다. 다음 해 2015년에는 서울의 신촌, 광화문, 삼성중앙역 등 지반침하로 인한 인적, 물적 피해가 발생하였다.

같은 해 인천 영종하늘도시 신명 스카이뷰 공사장 주변이 지진이 난 것 같은 형상으로 땅이 꺼지는 현상을 보였다. 그보다 앞서 2012년 인천시 서구의 인천지하철 2호선 공사현장 주변 왕복 6차선 도로 한 가운데서 붕괴가 발생하였다. 그로 인해 사망 1명, 그리고 그 외 주변 지역의 안전위험요소가 급격히 증가하게 되었다.

이처럼 전국에서 지속적으로 주요 도심지를 중심으로 상하수도 시설의 노후화, 지하수 고갈 및 대형건설로 인한 지반 침하 사고가 증가하고 있다. 사고가 발생하는 것에 대해 안전관리 상의 문제는 이들에 대한 대처가 아직까지도 사전 예방보다는 사후 대응에 그치고 있다는 것이 한계이다. 이로써 국가 차원에서는 안전관리 체계가 변화되어 국가 차원의 지반침하 사전예방을 위한 취약지역 집중관리 방안이 마련되고 있다(국토교통부, 2014).

중앙정부 특히 국토교통부에서는 2015년부터 지반탐사반을 운영하여 지자체별 지반침하 취약지역을 대상으로 지하에 숨어 있는 공동(空洞)을 사전에 발견하고, 복구하는 지반탐사반(한국시설안전공단)을 구성하고 운영하고 있다. 다만, 국토교통부 사업은 전국에서 일부 취약지역을 전문가가 검토하여 대상지를 선정하는 절차로 선정 여부를 확실하게 어렵다.

이에 주요 지자체에서는 국토교통부 지원과 별개로 자체 조사 수행이 어려운 경우가 대부분이다. 현실이 그렇다보니 서울시는 2014년부터 주요 도심 4곳에서 29개 동공 확인, 원인을 분석하고 있고, 인천시 역시 지반침하의 가장 최적 방안으로 2012년 도로포장관리시스템(PMS)을 마련하고, 인천 지역 특성에 맞는 지반침하 관련 안전 확보를 담당하고 있다. 뒤이어 2015년에는 대구시에서 시 전역의 하수관로 정밀조사를 실시하고 있으며, 최근 2017년 대전시에서는 사전예방 및 조치를 위한 사전지하안전영향평가를 실시하고 있다.



하지만, 지반침하 및 포트홀 등의 안전과 관련된 예방과 대응에는 적잖은 부족함이 있었다. 이에 본고에서는 제주의 도로안전 환경개선을 위해 포트홀 관리대책을 중심으로 한 발전적인 정책 방안을 제시하고자 한다.

2. 용어의 정의

국내에서는 지반침하와 관련된 유사한 용어가 혼재되어 사용되고 있다. 이에 본고에서는 국토교통부에서 제시하고 있는 ‘지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼’상에서 공개적으로 제시하고 있는 지반침하 및 포트홀 관련 용어를 다음 표 1과 같이 정리하고자 한다.

〈표 1〉 지반침하(함몰) 관련 용어

용어	사례 사진	정의
포트홀 Pot Hole		- 도로 포장체에 우수유입으로 인하여 도로 포장에 벗겨져 작은 구멍이 생기는 현상 (예) 아스팔트 포트홀, 포장도로 포트홀
지반함몰 Ground Sink		- 지표면이 여러 요인에 의하여 일시에 붕괴되어 국부적으로 수직 방향으로 꺼져 내려앉는 현상의 학술 용어 (예) 지반함몰, 도로함몰, 함몰 구멍 등
땅꺼짐 Ground Sink		- 지반함몰의 순화된 용어 - 대국민 및 대언론 홍보용 용어로 사용할 수 있음 (예) 땅꺼짐, 도로꺼짐, 꺼짐 구멍 등
공동 Cavity		- 지질학적으로 지층 내에 생긴 빈 공간으로 다양한 형태와 분포가 불특정으로 나타나는 양상 (예) 석회암공동, 해식공동, 지하공동 * 동공이라는 용어는 학술적인 용어가 아님

용어	사례 사진	정의
지반침하 Ground Settlement		<ul style="list-style-type: none"> - 자연적 혹은 인위적인 다양한 요인에 의하여 지반이 넓은 면적이나 일정 구간에서 자연적인 연약지반 또는 충분히 다짐되지 않고 인위적으로 형성된 지반이 오랜 시간 동안 서서히 가라앉는 현상 (예) 연약지반침하, 매립지침하, 도로잔류침하
싱크홀 Sinkhole		<ul style="list-style-type: none"> - 석회암, 석고, 암염 등의 지층이 지하수와 지표수의 화학적인 영향에 의하여 하부 지반이 유실되어 지표층까지 깔대기 모양 또는 원통 모양으로 붕괴되는 현상 - 대체로 대규모로 형성되는 경우가 많음 (예) 한국 영월, 정선 부근, 미국 플로리다 주 윈터팍 싱크홀 등

출처 : 국토교통부(2015) 지반침하(함몰) 안전관리매뉴얼.

3. 연구의 목적

전국적으로 빈번히 발생하고 있는 지반침하 관련 이슈가 지속적인 관심을 받고 있다. 그 관심의 배경에는 특히 그로 인해 발생하는 도로안전사고 발생 이슈가 함께 하는 이유 때문이며, 그에 대한 대책이 사후 대응이 아닌 사전 예방방식으로 바뀌어야 안전을 담보할 수 있다는 인식의 전환 때문이라고 할 수 있다.

최근 기상이변 및 국내외 도로안전사고 발생 등에 의해 지반침하는 눈으로 직접 볼 수 없는 지하에서 발생하는 현상이 지표면 상으로 급작스럽게 발생하여 사전 예측이 어려운 상황이라는 점에서 답답함이 존재하는 부분이기도 하다. 그러한 관점에서 담당 부서에서는 지하공간에 대한 탐사와 분석, 관리를 지속하고 있으나 한정된 예산으로 체계적인 사전 대응 방안을 마련하기에는 역부족인 현실이다. 제주 역시 포트홀 도로안전사고 및 지반 침하 현상에 의한 사고가 끊이지 않고 있으며, 제주의 자연지형 분석을 토대로 해결할 수 있는 부분에 한계가 존재한다.

이에 본고에서는 현재 제주시의 지반침하 현상 중에서도 포트홀 현황 및 도로안전관리 차원에서의 국내외 선행 사례를 토대로 제주시에 적용할 수 있는 정책안을 제시하고

자 한다. 더불어 더욱 발전적인 방안으로서 지반침하 관리를 중심으로 해결할 수 있는 제주시의 도로안전 환경 개선의 대주제를 달성할 수 있도록 장기적인 정책 방안을 모색 하도록 할 것이다.

Ⅱ. 선행연구 및 타 지역 사례

1. 선행연구

가. 법제도적 측면

국내에서는 최근 빈번히 발생하고 있는 지반침하 현상과 그로 인해 발생하는 도로안전 환경 저해 요소를 사후 대응이 아닌 사전 예방방식으로 바꾸는 과정이 진행되고 있다. 우선적으로 요구되는 변화가 바로 법, 제도적인 구조 변경이라고 할 수 있다.

중앙정부 차원에서는 ‘지하안전관리에 관한 특별법’의 제34조 지하시설물 및 주변 지반에 대한 안전점검 등에 관한 조항을 통해 지자체의 지하 안전관리에 대한 필요성을 규정하고 있다. 해당 조 2항에 따르면, ‘시장·군수·구청장은 관할구역에 있는 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 연 1회 이상 안전관리 실태를 점검하여야 한다.’고 의미를 부여하고 있다.

더불어 동법 제 6장에는 ‘지하공간통합지도의 제작 등’에 관한 내용을 추가하여 관련 공간정보에 대해서 국토교통부장관이 이에 대한 책임과 의무를 다하도록 명시하고 있다. 다만, 동법 49조 권한 위임사항으로서 해당 항목에 대해 지자체가 직접 관련 정보를 구축하고 운영·위임할 수 있도록 열어 두었다¹⁾.

관련한 연구에 따르면, 싱크홀은 도시지역 주민들을 위협하는 재난의 한 형태로 주목

1) 지하안전관리에 관한 특별법 제6장(지하공간통합지도의 제작 등)은 42조(지하공간통합지도의 제작), 43조(지하정보통합체계의 구축, 운영), 44조(지하정보통합체계의 활용지원), 45조(지하정보 목록정보의 작성 및 관리) 등의 제작근거 명시되어 있다.

받고 있으며, 이러한 싱크홀 현상은 도시지역에서 발생빈도가 증가하고 있다고 결과를 도출하였다(이기영 외, 2014). 연구에 따르면, 2014년에만 수도권에서 7건 이상 발생했다. 덧붙인 설문 결과에 따르면, 수도권에 거주하는 응답자의 95% 이상이 불안감을 느끼고 있고, 자신도 피해자가 될 수 있다는 응답이 높은 비율로 나타났다.

지금이 바로 체계적인 대응이 필요한 시점이다. 제도적 개선 대책으로 도로나 건축물 공사 시 축적된 지질자료 등을 활용한 싱크홀 위험지도를 작성하여 이를 토대로 개발사업 허가, 시공 공법 강화, 공사 관리 및 사후관리 조례를 마련해야 한다.

나. 기술적 측면

국내 지형조건은 석회암층 지역이 많지 않아 싱크홀의 발생보다는 도심지역의 인위적인 행동에 의한 지반침하가 많이 발생하고 있다. 이러한 인위적인 원인은 지하수위의 변화, 지하 매설시설물 등의 영향에 의한 토사의 함몰 등에 있다. 과거 자연적 싱크홀에 의한 지질전문가들의 원인 및 분석은 꾸준히 지속되어 왔으나, 최근 도심에서의 인위적인 현상은 그 피해가 훨씬 막대함에도 불구하고 기술적인 원인과 분석, 그리고 그 대응 방안이 현재까지 미진한 것이 사실이다.

최근 연구에서는 각종 고품질의 영상 취득이 가능하게 되면서, 해당 영상해석을 통한 정보획득 방법이 다양해지고 있다. 물론 그 영상 해석의 결과 또한 정확도가 높아지고 있으며, 더욱 빠르고 예측 가능한 범위의 연구들이 수행되고 있다.

이기영 외(2014)는 최근 발생한 도심 지반침하는 대규모 공사로 인한 지하수 교란, 상하수도 누수 등이 직접적 원인이며, 지하수위 저하와 밀접한 관련이 있는데 지하수 개발/이용 시설이 매년 5.1%, 지하수 이용량도 매년 2.6% 증가하는 것을 강조하고 있다. 유사한 연구에서 김보나 외(2017)는 지표레이더(GPR) 탐사자료를 이용하여 지하공동 분석 시 신뢰도 향상을 위한 영상처리기법 활용을 모서리 기법을 통해서 범용 소프트웨어의 활용성을 높여 분석한 바 있다. 또 다른 연구에서는 레이더 간섭 및 오프셋 기법을 통해서 2016년 구마모토 지진을 3차원 정밀 맵핑하여 영상편집 및 분석에 대한 가능성을 더욱 진일보시킨 연구결과를 도출하였다(백원경, 2017). 최근의 연구 동향이 하드웨어 발

달에 의한 정보 및 영상 산출물의 해석과 판독에 더욱 무게가 실리고 있는 것이 사실이며, 눈에 보이지 않던 지층 및 지반에 대한 해석도 점차 더욱 명확하게 들여다볼 수 있는 시대가 열리고 있는 것이다.

하드웨어 성능 발달도 눈여겨봐야 할 부분이다. 경기도는 2017년 지자체 최초로 3D 교차 레이저 방식의 PMS 조사차량을 도입하였다. 이는 기존의 지반탐사에만 치중하여 정확한 위치나 3차원 정밀 정보 혹은 위치좌표를 정확하게 구하지 못했던 애로점을 해결하는 선도적인 장비이다. 특히 기존 GPR 탐사장비 이외에 3차원 교차 레이저 방식의 도로 표면결함(균열, 소성변형) 조사장치, 종단 방향의 노면요철 정도를 조사할 수 있는 종단평탄성 조사장치 등이 설치된다. 특히 오차를 보정해 기존 GPS보다 한층 정밀한 위치 정보를 확인할 수 있는 DGPS, 바퀴회전수를 통해 정확한 이동거리를 측정하는 DMI, 30메가 픽셀 해상도로 360도 전방영상 촬영이 가능한 도로현황 촬영장치 등도 함께 갖췄다²⁾. 이는 도로를 직접 운행하며 각 도로별 균열율, 소성변형, 종단평탄성 등을 10m 단위로 수치화 하는 것은 물론, 향후 차량 통행량이나 도로 중요도 등의 가중치를 함께 적용해 보수 우선순위를 일목요연하게 조사분석하는 역할을 한다(미디어인천신문, 2017).

2. 해외 주요국 관리 방안

대부분의 선진국은 지반침하가 도시의 과밀화, 노후화에 의해 발생하고 개발도상국의 경우는 급속한 국토개발과 부주의한 안전조치 등으로 발생한다(이대영, 2014).

미국의 지질은 대체로 석회암지대가 많아 자연발생적인 싱크홀도 많이 발생하는 편이며, 도심지에서는 지표침하와 2차적 파손에 의한 주요 관로 폭발 등의 피해가 잇따르고 있다. 유럽은 오랜 역사를 지닌 도시로서 도시 노후화에 의한 지반침하가 발생하는 편이고, 그로 인해 지하 시설물의 노후화에 의한 도로 및 지반 침하 빈도가 높은 편이다. 중

2) 해당 장비는 이동형매핑시스템(MMS; Mobile Mapping System)이라고 하며, 차량에 고해상도의 디지털 카메라, GPS, GNSS/INS 등을 부착하여 지상에서 확보할 수 있는 지상에서의 정보를 점군 데이터로 획득한다. 주로 도로표면 크랙, 교량 및 옹벽 균열 정보, 교통 지상시설물 등의 정확한 위치 및 형체를 모두 포인트 정보로 저장한다.

국의 경우에는 급속한 도시 발달에 의한 졸속공사에 의한 부작용으로 지반이 허술하여 발생하는 사고, 건설 안전에 대한 불감증으로 많은 침하현상이 나타나고 있다.

이 같이 각국마다 지반침하의 원인과 발생 현상도 제각각 다양하게 나타나고 있다. 그로 인해 각국의 대응 또한 안전관리의 목적과 추구하는 방향에 따라 다르게 설정되어 있는 것을 확인할 수 있다.

미국이나 일본, 유럽과 같은 선진국의 경우 기본적인 기초 조사를 기반으로 예측 시스템 위주의 대응체계를 갖추는 데 주력하고 있다. 미국의 경우 지반침하 예방을 위한 국가지원시스템이 마련되어 있고, 지반침하가 발생하면 대응 매뉴얼을 주민에게 제공하는 대응책을 마련하고 있다. 특히, 미국은 NASA에서 인공위성과 항공사진을 통해 지반침하를 예측하고 있으며, 실제로 원격탐사를 통해 지반침하를 예측하고 대다수의 주민을 선제적으로 대피시켜 큰 피해를 막은 사례도 있다. 실제로 2012년에는 기존 레이더 자료와 달리 높은 해상도를 가진 SAR(Synthetic Aperture Radar)을 사용하여 미국 로스엔젤레스에서 발생한 거대 지반침하를 최소 한 달 전에 예측하여 인근 주민을 대피시켰다고 한다(김춘수 외, 2016).

비슷한 대응책을 마련하고 있는 호주는 지반침하에 대한 기준, 매뉴얼 등을 규정해 둠으로써 국가차원의 지반침하 대응 체계가 자리 잡힌 것을 확인할 수 있다. 한편, 일본은 지반침하 조사와 진단에 중점을 두고, 도심지 인구 밀집도가 높은 기반시설 중심으로 점검 및 예방, 대응을 시행하고 있다. 일본 정부는 세부 지침과 가이드라인을 설정해 도로, 상하수도 등을 전수조사하고 사전 관리에 힘쓰고 있다.

3. 국내 중앙정부 관리 방안

가. 지하공간통합지도(지하정보통합체계) 구축

국내 지반침하 및 싱크홀에 의한 위험도가 증가하면서, 국토교통부(2014)를 중심으로 한 중앙정부에서는 지하정보 현황을 종합적으로 파악하고자 하는 노력을 기울이고 있다.

지하 정보 현황을 종합적으로 파악하고 확인할 수 있는 데이터베이스가 현재 부족한 관계로 종합적인 정보 수집이나 사고 발생 시 대응이 미진한 것이 그 배경이라고 볼 수 있다. 이는 국민의 재난피해 예방 및 대처 기반 마련을 위한 지하공간 정보의 구축 방식 표준화, 지하정보통합관리 요구 증대에 의한 발로로 여겨진다.

해당 사업의 핵심 내용을 크게 세 가지로 첫째, 범정부 활용을 위한 지하공간 정보 기반 마련, 둘째, 스마트한 지하정보 통합, 활용체계 구축, 셋째, 지하정보 활용 지원센터 운용으로 구분된다(그림 1).

1) 범정부 활용을 위한 지하공간 정보기반 마련

국가에서 지하공간을 개발, 이용, 관리하기 위해서 기본이 되는 지하시설물, 지하구조물, 지반 등의 지하공간정보를 통합하여 구축하고자 하는 정보의 기반 플랫폼을 마련하고자 하는 것이다.

- 지하시설물 정보 : 지하공간에 매설되어 있는 7대 지하시설물 중 송유관 정보를 제외한 6종의 시설물 정보
- 지하구조물 정보 : 지표면 아래 구축되는 구조물에 관한 정보
- 지반 정보 : 지하지층, 토층, 암층에 관한 정보

2) 스마트한 지하정보 통합, 활용 체계

현재까지 관리기관별로 산재되어 있던 정보를 취합하고 가공하여 생산된 통합지도를 종합적으로 제공하고 활용하기 위한 시스템을 마련하고자 한다.

3) 지하정보 활용 지원센터 운영

통합지도를 구축한 후, 종합적인 관리체제로 전환하게 되면 컨설팅 등을 수행하는 종합 지원센터를 국가에서 집중 육성 관리하도록 하는 것이다.

[그림 1] 국토교통부 지하공간통합지도 구축 개요도



출처: 국토교통부 내부 자료(2014).

나. 지반탐사반 운영

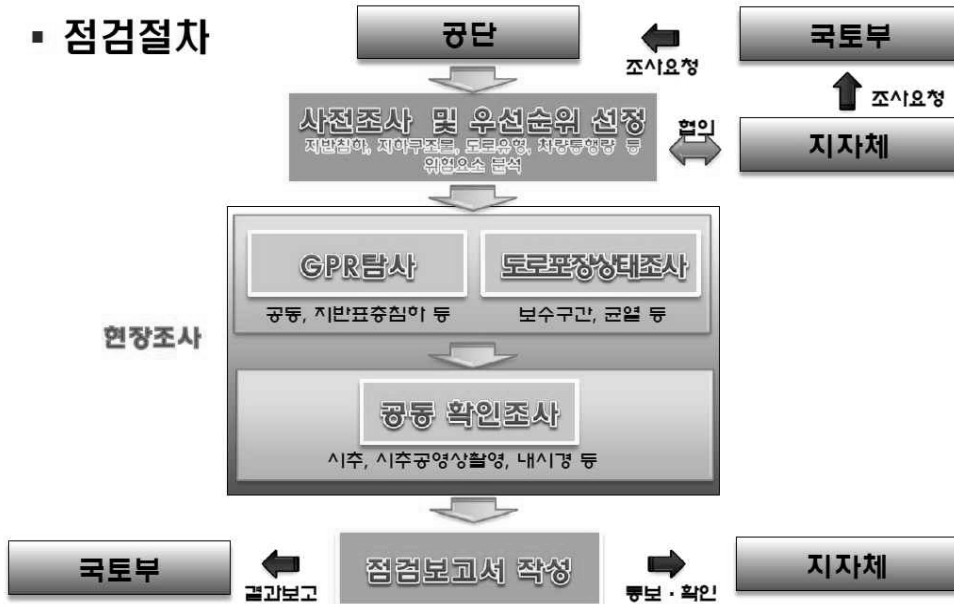
중앙 정부(국토교통부)차원의 지반침하 관리를 위한 ‘지반침하 예방대책’(2014.12)이 마련되고, 한국시설안전공단이 지반탐사반을 설치하여 지반침하가 잦은 취약지역의 지자체 안전관리 지원을 도맡게 되었다.

지반탐사반의 현장조사는 지표투과레이더(GPR) 탐사³⁾와 도로포장상태조사를 함께 진행하고, 동공 확인조사를 통해 최종 분석을 실시하는 것으로 이루어진다(그림 2). 또한 그 결과는 지반탐사반이 동공을 발견한 경우에는 지자체에 통보하는 주요 결과물 및 도

3) 지표투과레이더 (Ground Penetration Radar ; GPR) 광대역 전자기파를 지표면 아래에 보낸 뒤 매질의 경계면에서 반사되는 파를 되받아 매질의 특성을 영상화하는 최신 물리 탐사 기법이다. 싱크홀 조사, 지하시설물 탐사, 지하매설물 위치 및 심도 측정 등을 위해서 이용되는 최신 공법이다.

로관리를 위한 정보를 위치도, 노면사진, 주변사진, 탐사 결과 등으로 통보하고 유지보수 관리를 통보하고 확인한다(그림 3).

[그림 2] 한국시설안전공단 지반탐사 점검 절차



출처: 한국시설관리공단 발표자료(2016.10.)



(좌) 도로 GPR, (우) 보도용 핸디 GPR

[그림 3] 한국시설안전공단 지반탐사 결과 사례(광주시)

▪ 광주광역시 ○○현장(공동)



출처: 한국시설관리공단 발표자료(2016.10.)

다. 포장관리시스템(PMS: Pavement Management System)

국내 포장관리시스템(PMS)은 1986년에 국토교통부가 일반국도를 대상으로 구축하면서 도입되었지만 보급 및 확산은 매우 저조한 실정이다. 국내에서는 한국도로공사, 국토교통부, 서울특별시, 일부 지자체, 그리고 활주로를 관리하는 공항에서 이를 활용하고 있다.

1989년 국도 포장조사장비 및 분석시스템 도입 이후, 1996년 고속도로 PMS (Pavement Management System), 2002년 공항포장 PMS, 2002년 서울시 PMS가 도입되었다. 이들의 운용은 국토교통부 (한국건설기술연구원), 한국도로공사, 지자체 (서울시, 경기도, 인천시), 공항 관련 기관에서 운용하고 있다.

서울시와 같이 포장관리시스템(PMS)을 도입한 자치단체로는 부산시, 경기도 일부 지자체에서 구축했던 사례가 있지만, 지속적인 데이터 갱신 어려움으로 시스템 운영 및 관리에 한계성을 지니고 있다. 한편 항공기의 안전한 이착륙을 위한 목적으로 공항 활주로

나 유도로를 대상으로 포장관리시스템(PMS)를 구축하여 운영하고 있는데, 한국공항공사는 국내 15개 공항의 주기적 관리를 위해 3년 주기로 활주로 포장상태를 평가하고 유지보수를 시행하고 있다. 그리고 인천공항공사는 2년 주기로 포장상태 관리를 수행하고 있으며, 공군의 경우에도 전국 6개의 공군 비행장의 포장상태 관리를 5년 주기로 유지관리하고 있다(표 2)(염준호, 2018).

〈표 2〉 국내 포장관리시스템 도입 현황

구분	관리기관	도입시기	운영방식	관리물량 (조사연장)	갱신주기
고속도로	한국도로공사	1993	도로교통연구원	3,211km	2년
일반국도	국토교통부	1991	건설기술연구원	15,000km	3년
시/군도	서울시	1999	자체운영	1,150km	3년
	부산시	-	자체운영	1,202km	3년
	성남시	2005	위탁운영	-	운영중단
	이천시	2006	위탁운영	170km	운영중단
	안산시	-	위탁운영	-	운영중단
기타	한국공항공사	-	국내공항	15개 공항	5년(공항별)
	인천국제공항공사	-	Airside	1개 공항	2년
	공군	-	공군비행장	6개 비행장	5년(공항별)

출처: 염준호(2018).

포장관리시스템에서는 다양한 장비와 방법을 이용하여 현재의 포장상태 즉 표면손상, 지지력, 평탄성 및 미끄럼 저항성 등을 조사, 평가하여 우선순위를 결정한다. 실제로 일반국도는 매년 약 3,000km의 포장상태를 조사하고 분석한다. 균열 및 소성변형 등으로 보수가 필요한 구간은 투자 우선순위에 따라 최적의 보수공법을 선정하여 정비한다.

[그림 4] PMS 도로포장상태 조사장비



* 좌측부터 노면조사장비, 포장구조진단기, 지표투과레이더, 미끄럼저항측정기

<표 3> 국도 도로포장 실적

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
연장(km)	572	407	417	444	501	540	720	574	962
금액(억 원)	436	424	422	400	550	700	1,000	1,250	1,550

자료: 국토교통부 (2016).

도로포장관리시스템의 성능기준은 균열률, 소성변형, 처짐량의 3가지 지표를 이용해 총 9등급의 품질 등급(Q1-Q9)으로 구분하고 있다. 세부적으로 그림 5와 같이 VI는 균열률과 소성변형으로 7개 등급으로 구분하고 이를 다시 3개 등급으로 묶고 처짐량 지수 3개 구간 측정치와 함께 9개 등급으로 구분한다.

Q1-Q2 구간은 포장상태가 양호한 구간이며, Q6구간은 처짐량과 표면 결함이 불량해 덧씌우기 작업을 요구하는 수준이다. Q6-Q9구간은 처짐량이 불량한 구간으로 보수공사가 필요한 것으로 판단하고 있다(표 4).

[그림 5] PMS의 도로포장 품질기준 및 등급

균열률(%) 소성변형(mm)	Low (< 5)	Medium (5 ~ 15)	High (> 15)
Low (< 10)	1	2	3
Medium (10 ~ 20)	3	4	5
High (> 20)	5	6	7
소파보수, 포트홀 면적이 10% 이상이면 1등급 상향 조정			
최저 VI 등급은 7등급으로 한다.			
VI 등급 범위 (1~7등급)			

저짐량 (mm) VI등급	I	0.5 미만	II	0.85 미만	III
1	Q1	Q2		Q7	
2-3	Q3	← Q5	↑	Q8	
4-7	↑ Q4	→ Q6	↓	Q9	

출처 : 국토교통부(2015).

<표 4> PMS의 품질 등급별 조치내용

등 급	조치 내용
Q1, Q2	- 포장상태가 양호하고, 처짐량이 양호 내지는 보통구간으로 일상적인 유지 보수 작업 요구
Q3	- 포장상태가 불량하고, 처짐량이 양호한 구간으로 향후 포장상태가 급속도로 나빠질 위험성을 내포, 교통량에 따라 덧씌우기 여부 판단
Q4, Q5	- 불확실한 상태로 공학적 판단(처짐량과 VI 등급의 상대적인 비중의 비교)에 의해 유지보수와 보강 작업 결정
Q6	- 처짐량이 불량하고, 표면결함도 매우 불량한 상태, 반드시 덧씌우기 실시
Q7, Q8, Q9	- 처짐량이 매우 불량한 구간으로 처짐이 과도하게 발생하는 원인을 분석하고, 적절한 보수공법을 결정하기 위해 특이구간으로 분류하며, 특이구간 운영지침에 의해 보수공법 결정

출처 : 국토교통부(2015).

4. 국내 타 지자체 관리 방안

가. 서울시

서울시는 도로파손(포트홀) 보수 실적과 삼성화재보험회사에서 집계한 포트홀 자기차량사고 보험금 지급 현황을 토대로 분석한 ‘도로 위 포트홀 실태와 안전대책’(삼성화재, 2017) 결과를 토대로 서울시 포트홀 관리에 대한 심각성을 진단한 바 있다.

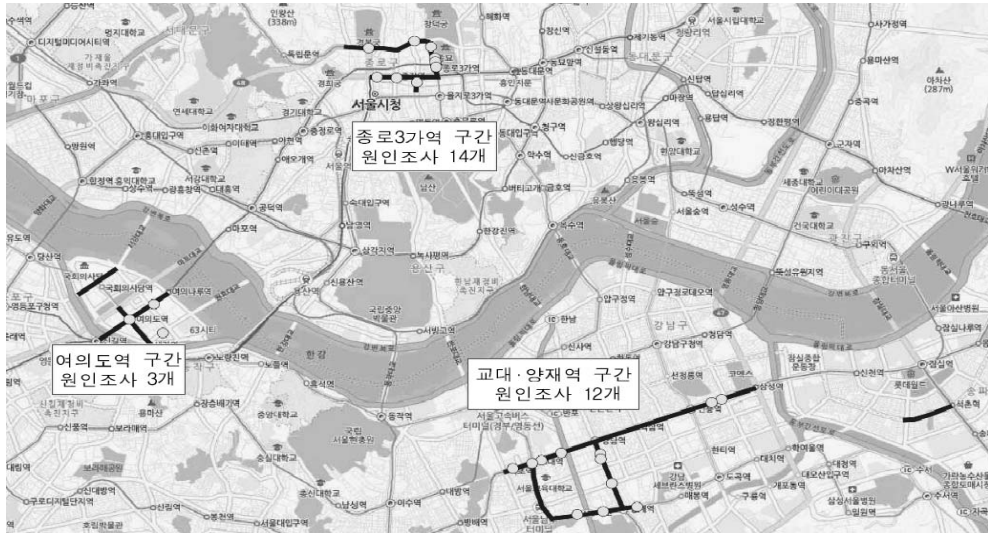
결과에 따르면, 최근 4년간(2013~2016) 서울시 도로의 포트홀 보수실적은 도로 위 포트홀은 총 17만8,475건, 면적으로는 총 280,541m²가 발생한 것으로 집계되었다. 연평균 약 44,619건, 면적 70,135m²으로 이는 축구장 11.7개에 해당되는 면적이다. 월 평균 14,873건 발생 중 가장 빈번하게 발생한 시기는 7월로서 17.4%에 해당하는 30,993건이 발생한 것으로 나타났다.

이러한 도로 포트홀 현상에 의한 경제적 지표로서 삼성화재 자동차보험 자기차량손해 사고접수 현황을 보면 사고접수 건은 총 465건으로 5.4억 원의 보험금이 지급되었던 사실을 확인하였다.

서울시의 심각한 도로안전 위협요소인 포트홀을 비롯한 지반침하 관리를 위해서 서울시는 2014년 12월, 주요 도심 4개 지역(총 연장 61.3km)에서 발견한 A급, B급 동공 29곳에 대해 동공 생성원인과 과정을 조사⁴⁾한 바 있다(그림 6).

4) 여기에서 사용된 조사 기법은 지표투과레이더(GPR) 탐사기술에 의한 조사방식을 채택하였고, 이 조사의 적중률은 86.2%로서 동공 상부의 흙 두께는 15~57cm, 아스팔트 층 하부까지 도달한 사례도 있어 발견된 동공은 주로 모래, 자갈질층인 포장층 하부의 80cm 이내에서 발생하고 있었다.

[그림 6] 서울시 29곳 동공조사 대상 (2014년)

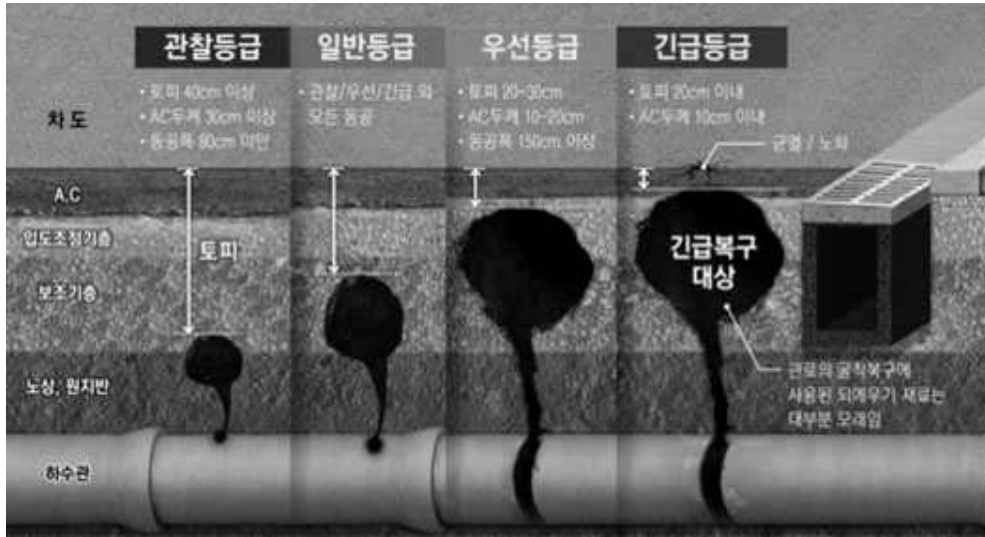


조사 결과 주요 원인은 하수관 등 관 연결부 손상이 52%, 굴착복구 장기침하가 48%로 나타났다. 그 외 특이사항은 동공의 끝은 하수관, 각종 매설관 하부 공간, 지하철 구조물, 불량 매립재(목재, 돌덩이 등) 사이 공간까지 이어지고 있었다.

서울시는 이 같은 조사 결과를 바탕으로 도로함몰 예방을 위한 국비 확보, 탐사장비 자체 개발 및 운영 계획 수립, 동공발생 원인인 노후 하수관 개량 및 굴착 공사장 품질 관리에 집중할 계획을 수립하였다. 특히 중점구간은 3년 주기로 시행할 것으로 하고, 중점주간에 대해서는 긴급 용역을 통해 조사 및 유지보수를 수행하고, 신규 도입 장비를 통해서 정기적, 추가적인 탐사를 통한 지속적인 지반관리를 수행하였다.

이 같은 결과로, 2016년 서울시는 기초 조사를 기반으로 ‘서울형 공동관리등급’을 마련하였다. 기존에 일본의 공동관리등급에 의존적이었던 틀을 개선하여 서울의 도로사정에 맞춰 독자적인 도로함몰 관리체계를 수립한 것이다. 그 분류기준은 다음 그림 7과 같이 4단계로 구분한다. 그리고 해당 등급에 맞춰 표 5와 같이 복구 기준을 마련하여 안전 관리 대책을 마련하고 있다.

[그림 7] 서울형 공동관리등급 분류기준(2016)



출처 : 서울형 공동관리등급 분류기준(2016).

<표 5> 서울형 공동관리등급 기준별 복구 기준 (2016)

등급	분류기준	복구기준
긴급복구	<ul style="list-style-type: none"> - 아스콘 포장 두께 10cm 이내인 동공 중 동공 토피 20cm 이내인 동공 - 포장 균열 깊이가 50% 이상 진행된 모든 동공 	<ul style="list-style-type: none"> - 함몰 가능조건이 충족된 동공 - 탐사 중 동공상태 확인 즉시 복구(6시간 이내) - SNS를 통하여 발주부서에 통보
우선복구	<ul style="list-style-type: none"> - 아스콘 포장 두께 10~20cm 이내인 동공 중 동공 토피 10~30cm 이내인 동공 - 동공 좁은 폭 150cm 이상인 모든 동공 - 포장 균열 깊이가 10~50% 이상 진행된 모든 동공 	<ul style="list-style-type: none"> - 돌발 강우 등 함몰 가능조건을 만날 경우 함몰 위험성이 높은 동공 - 신속한 조치계획 수립 및 복구
일반복구	<ul style="list-style-type: none"> - 긴급/우선/관찰 등급을 제외한 모든 동공 	<ul style="list-style-type: none"> - 일정기간 동공 추가 확대로 함몰 가능조건 충족 시 함몰될 동공 - 우기철 이전까지 복구
관찰대상	<ul style="list-style-type: none"> - 아스콘 포장 두께 30cm 이내인 동공 중 동공 토피 40cm 이내인 동공 중 에서 동공평균 폭 80cm 미만인 동공 - 모두 평균 폭 80cm 미만 	<ul style="list-style-type: none"> - 동공 토피(동공 상부 지반 두께)가 튼튼해 함몰될 위험이 없는 동공 - 지속 관찰 후 반복탐사 시작년도 우기철 이전까지 복구

출처 : 서울형 공동관리등급 분류기준(2016).

뿐만 아니라 서울시는 도시 노후화 진입과 표층 위주의 도로포장 정비로 인해 누적된 노후포장 해소와 공용수명 증대, 장기적 유지관리 효율화를 위해 2015년 9월부터 ‘차도 혁신 종합대책’을 시행한다. 그 대책의 하나인 ‘차도관리 마스터플랜’을 그림 8처럼 30년 생애주기의 ‘안전, 쾌적, 장수명 도로포장 유지관리 기본계획’ 체계로 재편해 관리한다.

서울시는 2013년 아스팔트 10계명을 마련하고, 2015년 차도혁신 종합대책의 시행으로 안전한 도로기능이 회복되는 성과와 함께 생애주기 관리체계(1년, 5년, 10년, 30년 주기)에 따라 짜여진 ‘도로포장 유지관리 기본계획’을 시행해 표층 재포장 위주의 관리기법을 노후포장, 평탄성 포장, 예방포장, 긴급보수포장 관리기법으로 유지관리한다.

[그림 8] 서울시 도로포장 생애주기 관리계획



출처 : <https://blog.naver.com/cartvnews/221248392319>

나. 대전시

대전시 포트홀 발생은 2015년 기준 11,226개로 도로연장을 고려할 때, 타 광역시에 비하여 발생빈도가 높은 편이며, 보수비용도 더불어 많이 지출된 것으로 집계되었다(국토교통부 도로보수현황시스템).

〈표 6〉 7대 도시 포트홀 보수 실적(2015년)

구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
물량 (개소)	27,432	9,962	7,942	4,431	10,793	11,226	1,940
금액 (백만원)	747	39	62	24	87	234	87

자료 : 국토교통부 도로보수현황시스템 (<http://www.rsis.kr>)

〈표 7〉 대전시 포트홀 보수 추이

구분	2014년	2015년	2016년
금액 (백만원)	9,271	11,226	12,197

출처 : 이범규(2017).

대전시는 2017년 9월, 최근 도심(도로 내) 지반침하 발생이 늘고, 발생 원인도 다양하게 나타나는 것으로 추정되어 정확한 원인 파악을 위한 지반침하 원인파악 및 방지대책을 추진하고 있다.

지반침하 예방대책은 국토교통부 매뉴얼에 따라 사후조치 기능을 수행해 왔었으나 향후 국가정책으로 예방기능을 강화하여 사전조사 및 조치가 가능하도록 ‘지하안전관리에 관한 특별법’이 제정된 것을 기점으로 시에서는 지하굴착을 하고자 할 때 사전에 ‘지하안전영향평가’를 실시하도록 하여 사전 예방 기능을 신설하고 있다.

이를 위해 시는 앞으로 지하안전관리계획의 수립 및 지하안전위원회를 구성하여 운영하고, 유관부서와 자치구 차원의 협의체를 구성해 효과적인 대응 방안을 마련해 나갈 계획에 있다. 지하안전영향평가 전문기관 등록을 필하고, 지반침하 사고발생 시 사고조사를 위한 지하사고조사위원회를 구성해 운영한다.

2018년에는 ‘지하안전관리계획수립 용역’과 ‘지반탐사 용역’을 실시해 지반침하 예방에 적극 대응하고 있다. 이러한 결과를 바탕으로 대전시는 지반침하 사고 발생 시 매뉴얼에 따라 초등대응 및 사고보고를 신속히 실시하고, 중앙부처의 위탁 운영 조사반인 시설안전공단의 사고조사에도 적극 협조할 수 있는 체제를 갖추는 것을 목표로 하고 있다.

다. 대구시

대구시는 2015년 4월, 하수관로로 인한 지반침하를 사전에 예방하고자, 시 전역의 하수관로에 대한 정밀조사를 일제히 실시하였다.

지반침하의 원인 중 하나로 지목된 1,000mm 이상의 대(大)구경 하수관로와 20년 이상 노후 하수관로 등 약 188km를 대상으로 실시하였다. 주요 점검지역은 다섯 가지 유형으로 분류되어, 첫째, 과거 지반침하(함몰) 발생 이력이 있는 지역, 둘째, 지하 굴착공사가 있었거나 진행 중 도로, 셋째, 연약지반 매립지역(지하수 유동이 큰 지역을 위주로), 넷째, 도로나 지표면 균열 발생지역, 다섯째, 우기 전 하수도 관로 공사지역 등을 대상으로 실시하였다. 이들 지반침하 관련 조사를 위해서 실제 공동(空洞) 또는 지반침하가 예상되는 구간은 지표투과레이더(GPR) 탐사, 내시경 및 시추공 조사를 통해 보완조사를 수행하였다.

이를 통해 대구시에서는 지반침하의 원인인 하수관로의 결함과 관로 주변 공동(空洞)의 정비를 통해 하수관로로 인한 지반침하 감소를 기대하고 있다.

Ⅲ. 제주시의 안전한 도로를 위한 관리 현황 및 개선방안

1. 제주시 포트홀 현황 및 도로 관리

제주시의 총 도로연장은 2,731km로 지방도 691km와 시·군도 등 2,040km가 개설 공용되고 있으며, 공용되는 도로는 지반의 특성, 기온의 변화 등의 환경적인 특성과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따라 다양한 형태로 파손이 일어나고 있다. 매년 제주도내 도로에 수천 개의 포트홀이 발생해 도민의 안전을 위협하고 있는 것으로 나타났다.

지난 2015년만 해도 노후 하수관으로 인한 지반침하 방지를 위해 정밀조사 용역을 실시한 기록이 있다. 제주도 수자원본부에서는 2015년 5월부터 12월까지 제주도내 43km

하수관로에 대한 정밀조사 용역을 실시하였다. 해당 사업은 2억 3,700만원을 투입하고, 20년 이상 된 노후 하수관로에 대해 실시하였다. 지역별로는 제주시 연동과 노형지역 30km에 1억 6,400만원, 서귀포시 신시가지, 성산, 대정 하모지역 13km에 7,300만원이 투입되었다. 당시 조사를 통해 지반침하 우려가 높은 곳은 우선 응급복구조치 하고, 노후 하수관로에 대해서는 국고보조를 받아 개량하는 방식으로 지반침하와 도로관리를 병행하였다(뉴스제주, 2015.06.05.).

하지만, 최근 아름다운 풍광을 간직해 도민과 관광객들이 인산인해를 이루는 제주시 용담해안도로만해도 도로 곳곳이 깨지고 파손되는 포트홀 현상이 수년째 방치됨에 따라 차량 운전자의 안전을 위협하고 미관을 저해하고 있어 보수가 시급한 실정이다.

[그림 9] 제주시 용담해안도로의 심각한 포트홀 현상



출처: 제주도민일보(2017.05.10.)

최근 용담해안도로는 전 구간에 걸쳐 도로가 깨지고 파이는 등 포트홀 현상을 어렵지 않게 찾아볼 수 있다. 1990년대 개설된 용담해안도로는 인근에 바다가 인접해 아스팔트 부식이 상대적으로 빠른데다, 관광지로 각광받으며 최근 차량 통행 증가까지 포트홀이

생길 수밖에 없는 조건이다. 문제는 이 같은 현상이 수년째 계속되고 있고 체계적인 대응이 신속하지 않다는 점이다(제주도민일보, 2017.05.10.).

2018년 10월, 제주특별자치도가 도의회에 제출한 행정사무감사 자료에 따르면 2017년 한파로 인해 파손, 복구된 포트홀은 2018년 6월 기준 총 3,989곳으로 집계되었고, 한 해 동안 복구된 포트홀은 무려 4,662곳이었다. 2016년에도 4,000곳 이상에서 포트홀 복구 작업이 이뤄지는 등 매해 포트홀 문제가 끊이지 않고 있다.

해마다 되풀이되는 문제지만 제주도의 대책은 ‘소 잃고 외양간 고치기’식 복구에 그치고 있으며, 현재 도로관리 방식으로는 포트홀 예방에 한계가 있다.

제주도 관계자는 “현재 도로관리는 도로포장 당시 예측한 수명을 바탕으로 이뤄지고 있다. 그러나 기후변화와 차량증가 등으로 인해 예측 수명이 달라지는 경우가 많아 사실상 포트홀을 사전에 예방하는 게 어렵다”고 밝히고 있다(제주일보, 2018.10.16.).

[그림 10] 폭설 후 발생한 제주지역 도로 포트홀



출처 : 일간 제주 (2018.03.14).

[그림 11] 제주시 영평동 도로에 생긴 포트홀



출처: 제주신보 (2018.07.08.).

여름철 심각한 장마철과 우기를 거치면 도로 위 흉기로 불리는 포트홀은 더욱 도로 곳곳에서 운전자들의 안전을 위협하게 된다. 지난 2018년 여름 기록에 따르면, 오라 2동 제주교도소 앞 오거리 인근 도로에는 크고 작은 포트홀이 발생하였고, 이 도로에서는 일부 운전자들이 움푹 패인 포트홀을 발견하여 급하게 차선을 변경하는 모습도 쉽게 볼 수 있었다. 인근의 제주여고 인근과 삼도119센터 인근 도로는 찌꺼기 갈라져 울퉁불퉁한 상태였지만 임시복구용 포장재를 이용, 일부 구간만 보수된 상태였다. 이외에도 애자로와 임항로 등 제주지역 도로 곳곳에는 크고 작은 포트홀이 생긴 상황이다(제주신보, 2018.07.08).

장마철이나 집중 호우가 쏟아지는 여름이면 포트홀 등 도로 꺼짐 현상이 빈번히 발생한다. 밤이 되거나 비가 와서 포트홀에 물이 고일 경우 이를 쉽게 발견할 수 없어 운전자들에게 큰 골칫거리다. 차량이 빠른 속도로 포트홀을 지나갈 경우 타이어가 펑크 날 수 있다. 또 급하게 차로를 변경하다 다른 차량과 부딪치기도 하는 등 2차 교통사고를 유발할 가능성도 있다. 능숙한 운전자라고 해도 이런 긴급 상황에 대처하기 쉽지 않다.

특히 한 번 패인 포트홀 위로 차량이 계속 지나다닐수록 넓이와 깊이가 더 늘어나 방지할수록 그 위험성이 커진다. 하지만 임시복구용 포장재를 이용, 해당 구간만 보수하는 경우가 많아 악순환이 되풀이 되고 있는 상황이다.

2. 제주시 안전한 도로를 위한 개선방향

제주도는 이 같은 문제를 해결하기 위해 PMS (도로포장관리시스템) 도입을 추진하고 있다. 국토교통부와 서울시, 경기도 등에서 시행하고 있는 PMS는 전문 제작된 차량으로 도로포장 상태 등을 정밀하게 촬영한 뒤 분석시스템에 데이터를 넣어 꼭 필요한 부분만 포장할 수 있는 시스템이다.

제주도는 PMS 구축을 위해 예산 10억 원을 요청한 상태이다. 예산이 확보되면 내년 구 국도와 지방도를 대상으로 PMS를 선제적으로 도입한 뒤 단계적으로 행정시 관리도로로 확대할 계획이다(제주일보, 2018.10.16.).

제주시는 각 지자체의 한정된 예산을 효율적으로 배분하고 활용해야 하기 때문에 안전을 최우선으로 표방한다고 할지라도 예산활용까지 모든 것에 앞서서 편향적으로 결정하긴 어렵다. 따라서 지자체에서는 재난안전기금 및 지역 안전을 도모하기 위한 예산 활용을 적극 검토해야 할 것이다.

우선, 제주시 도로안전 환경 마련을 위한 법 제도적인 근거가 필요할 것이다.

도로안전 환경을 조성하기 위해서는 눈에 보이는 도로 위의 상황에 국한하지 않고 지반에서 발생할 수 있는 위험요소를 사전에 예방해야 한다. 최근 제주시를 비롯한 여러 지자체의 포트홀 및 지반침하로 인한 보도 사고(서울시 용산 재개발 현장 인근, 2015년)는 그 이후 주변에 크고 작은 땅꺼짐 현상이 발생하고 있지만, 사후대응방식에 그치는 처리로 인해 지반침하 및 포트홀 현상이 이벤트성 재난으로 그치는 것으로 보도되고 있다(연합뉴스, 2016년 3월 2일자).

제주시가 안전한 도로환경을 조성하기 위해서는 눈에 보이지 않는 지하의 구멍을 사전에 탐지하고 사후대응이 아닌 사전예방을 할 수 있는 체계를 갖추어야 할 것이다. 실질적으로 재난관리기금⁵⁾을 활용한 유연적 대처방안도 모색해 볼 수 있을 것이다. 뿐만

아니라 의사결정에 있어서도 실제 지자체에서 운영되고 있는 포장관리는 민원이나 관리 담당자의 주관적 판단에 의해 유지, 보수 여부를 결정한다고 한다(2012년 경기도 지자체 공무원 인터뷰). 사정이 그러하다보니 유지보수 관리 예산 수립의 근거가 미약해 도로보수 예산을 효율적으로 배분하는 것이 쉬운 일이 아니며 단지 PMS를 이용할 경우 포장 상태를 조사하고 평가하여 적정 보수예산 및 보수우선순위의 산정을 과학적으로 도출할 수 있다(최병국, 2012). 따라서, 제주시 역시 현재 도입하고자 하는 PMS에 의해 유지보수 관리되고 있는 도로포장관리가 우선 법 제도적으로 지하 및 지반관리를 위한 구조에서 활용될 수 있도록 지자체 조례 등이 명확하게 정비되어야 한다.

둘째, 최근 기술장비 등을 활용한 디지털트윈 형식의 현황 점검 및 관리가 요구된다.

서울시 및 수도권 지역의 대표 지표투과레이더탐사 선도기업인 G사 대표에 따르면, 현재 기술로는 우리나라와 같이 표준화되지 않은 방식으로 지장물이 많은 곳에서는 정확성과 민감도가 현저히 떨어질 수밖에 없다는 자체 반성형 평가가 끊이지 않고 있다.

결국, 공간정보에 대한 단편적인 정보, 혹은 PMS를 구성하더라도 공간에 대한 통합공간정보관리가 요구되며, 이를 지상과 지하를 아우를 수 있는 3차원 공간정보에 의한 형태로 구성해야 효과적일 것이다. 다시 말해, 지하 시설물의 매설구조를 기존 시설물 도면이나 지표투과레이더의 단층표면 형식의 결과물로 정리하다보면 실제 기준점이 모호한 상태에서 현상만 확인하고 정확한 위치에 대한 정보나 구조적인 대응이 미비할 수밖에 없다는 단점이 존재한다.

결국, 제주에서는 국가에서 관리하는 통합기준점을 기지점으로 설정하여 지상과 지하를 통합적으로 3차원 공간정보로 구축할 수 있는 기술을 바탕으로 진정한 통합정보 구축과 이를 관리할 수 있는 통합시스템이 반드시 요구된다.

5) 지자체에서 예측하지 못한 재난관리 비용충당을 위해 매년 적립하면서 재난피해 시설의 응급복구, 방재 시설 보수 및 보강 등 적재적소에 활용하고 있는 기금이며, 최근 3년간 보통세 수입결산액 평균의 1%를 적립하도록 하고 있는 법정무기금이다.

3. 제언 및 기대효과

제주시는 현재 포트홀 등의 도로안전 위협요소를 최소화하고, 이를 위한 선제적 대응으로 도로포장관리시스템(PMS)을 도입하는 등의 진취적인 행정 절차를 더욱 효과적으로 운영할 수 있도록 해야 할 것이다. 즉, 앞으로 효율적인 도로 유지관리를 위하여 PMS를 도입하고 유지보수 예산을 지방재정계획에 반영하는 등 포장결함 발생 시 적기에 유지보수를 통해 최적의 포장상태를 유지하여 도민 및 관광객 등이 안전한 도로 이용에 불편함이 없도록 최선을 다해야 할 것이다.

서두에도 살펴보았듯이, 전국적으로 최근 도심지 중심의 상하수도 시설의 노후화, 지하수 고갈 및 대형 건설, 우기에 의한 포트홀 등의 도로안전 사고가 증가하고 있다. 국토교통부에서는 2014년 ‘지반침하 예방대책’을 수립하였고, 그 안전대책으로 지하공간 통합지고 구축 및 관련 서비스를 마련하고 있다. 뒤이어 미래부, 환경부 등의 중앙 부처와 서울시 등을 비롯한 여러 지자체에서도 각 도시의 안전성 확보를 위한 노력으로 도로안전 관리를 위한 기초자료 및 공학기술을 이용한 관리 개선방안을 마련하고 있다.

이제 제주시도 지금까지 눈에 보이지 않고 사후약방문 형식으로 대응했던 곳곳의 취약 지반과 포트홀을 눈여겨 살피고 제도적인 준비와 함께 선제적 대응을 마련할 시기이다.

[참고 문헌]

- 국토교통부(2016), 도로업무편람.
- 국토교통부(2015), 도로포장관리시스템.
- 국토교통부(2015), 장수명 도로포장 활성화 방안 연구.
- 김보나, 설순지, 변중무(2017), “지표레이더(GPR) 탐사자료를 이용한 지하공동 분석 시 신뢰도 향상을 위한 영상처리기법의 활용”, 『지구물리와 물리탐사』 제20권 제2호, pp.61~71.
- 김은경(2018), “인천시 안전한 도로환경조성을 위한 정책 제언-지반침하 관리 대책을 중심으로”, 『IDI도시연구』 제13호, 인천연구원, pp.79~106.
- 김점산 외(2014), “경기도 도로포장관리시스템의 구축방향”, 경기연구원.
- 김춘수, 강경식(2016), “도심지역의 지반침하(싱크홀)의 원인과 관리적 대책에 대한 제언”, 『대한안전경영과학회지』 제18권 제4호, pp.1~9.
- 박동현, 장용구, 최현상(2018), “지하안전관리 지원을 위한 3차원 지반정보 구축 방안 연구”, 『한국지리정보학회지』 제21권 제1호, pp.23~35.
- 백원경(2017), “레이더 간섭 및 오프셋 기법을 이용한 2016 구마모토 지진의 3차원 정밀 매핑”, 서울시립대학교 석사학위논문.
- 염준호(2018), “모바일매핑시스템을 이용한 도로포장 상태 분석 및 평가”, 서울시립대학교 석사학위논문.
- 윤문현(2012), “제주도 한천 포트홀의 지형학적 특성”, 『교육과학연구』 제14권 제2호, 제주대학교 교육과학연구소, pp.133~150.
- 이경하 외(2009), “아스팔트 포장의 포트홀 저감 대책”.
- 이기영, 강상준(2014), “도시를 삼키는 싱크홀, 원인과 대책”, 『경기개발연구원 이슈&진단』 제156호.
- 이대영(2014), “도심지 지반침하 발생원인 및 대응방안”, 『위터저널 스페셜리포트』.
- 이범규(2017), “효율적인 도로유지관리 방안 연구”, 대전세종연구원, 정책연구 2017-50.

최병국(2012), “인천시 도로포장관리시스템(PMS)의 구축방안”, 인천연구원 연구보고서 2012-정책 22.

최성웅, 전양수, 박익섭, 정용복, 전대성(2005), “지반침하 메커니즘 분석 및 평가 프로그램 개발”, 『터널과 지하공간』 제15권 제3호, pp.195~212.

한국시설안전공단(2015), “지반침하 대비 생활속 징후 및 안전관리 매뉴얼 개발 연구 보고서”.

현운정(2015), “도시지역 싱크홀 예방을 위한 지하공간 개발 관련 정책방향”, 『도로』 제17권 제1호, pp.61~63.

도로 및 보수 현황 시스템, www.rsis.kr

“‘누더기’ 용담해안도로, 보수는 차일피일”, 제주도민일보, 2017.05.10.

<http://www.jejudomin.co.kr/news/articleView.html?idxno=86509>(검색일: 2018.03.22.)

“제주 ‘포트홀’발생... 하수관로 정밀조사 실시”, 뉴스제주, 2015.06.05.

http://www.newsjeju.net/news/articleView.html?idxno=211930&replyAll=&reply_sc_order_by=C (검색일: 2018.05.06.)

“장마철 포트홀 운전자 안전 위협”, 제주신보, 2018.07.08.

<http://www.jejunews.com/news/articleView.html?idxno=2116885>(검색일: 2018.09.23.)

“제주 도로가 위험하다... 포트홀 복구 매년 수천건”, 제주일보, 2018.10.16.

<http://www.jejuilbo.net/news/articleView.html?idxno=106692>(검색일: 2018.11.23.)

“폭설로 인한 제주 도로 포트홀 620개, 115억 소요”, 제주의소리, 2018.03.14.

<http://www.jejusori.net/?mod=news&act=articleView&idxno=201502&page=5&total=142817> (검색일: 2018.10.30.)

“폭설 등으로 도로 106.4km에 2.29km² ‘포트홀’ 등 발생 - 보수 예산 115억원 소요 전

망... 파손심각한 도로 신속 보수” 2018.03.14.

<http://www.ilganjeju.com/news/articlePrint.html?idxno=47003>(검색일: 2018.10.30.)

“제주시 2018년 도시건설 예산 1733억원 편성”, 미디어제주, 2017.12.27.

<http://www.mediajeju.com/news/articleView.html?idxno=302059>(검색일: 2018.11.23.).

“서울시 도로포장관리, 30년 생애주기 관리체계 전환”, 교통뉴스, 2018.04.09.

<https://blog.naver.com/cartvnews/221248392319> (검색일: 2018.10.15.)