



지반재해, 과학기술로 막을 수 있다 무분별한 개발의 역습 ‘지반재해’, 과학기술로 해결한다.

최근 개봉된 영화 중에 ‘인터스텔라’라는 영화가 히트를 치고 있다. 우주의 망망대해를 탐험하고 인류의 무한한 새로운 도전과 우주역사를 밝히고자 하는 영화이다. 이와 반대로 지구 내부를 연구해 보면 또한 흥미롭지 아니할 수 없다. 행성에서 바라본 지구는 너무도 아름답기 그지없다. 지구 내부는 핵, 맨틀, 지각 등으로 이루어져 있으며 대륙이라고 하는 땅덩어리는 맨틀이라는 유동체 위를 둥둥 떠다니는 형색이다. 따라서, 지구의 대륙은 살아있는 생물체와도 같은 꼴이다. 지질학적으로 볼 때 태평양 주변의 대륙은 매년 2cm씩 이동을 한다. 이를 전공용어로 대륙이동설 또는 판구조론으로 해석하고 있다. 이렇게 장황하게 설명하는 것은 우리가 밟고 있는 땅은 항상 안전하고 그대로 있는 것이 아니라는 것을 이야기하고 싶어서이다. 땅은 끊임없이 변화하고 자신이 안정한 상태를 유지하려고 노력하고 있다는 것이다. 본고에서는 지반의 이야기를 나누고자 한다.

자연재해 위험수위 넘는 지반재해 불안감

지반(地盤), 소위 땅이라는 표현이 일반인에게는 더 와 닿을 것이다. 지반과 관련된 재해로 대표적인 것이 산사태, 지반침하로 인한 건물 붕괴, 도로 함몰 등이 있을 것이다. 산사태는 여름철 태풍과 집중호우로 인해 지반이 불안정한 상태가 되어 상부의 토사가 중력의 힘으로 하부로 이동하여 발생시키는 현상이다. 2011년 서울시 한복판의 우면산 산사태가 대표적으로 기억되는 사건이다. 올해에는 지반침하로 이어지는 건물의 기울어짐 피해와 도로가 함몰되는 피해(지반함몰)가 많이 발생하였다. 이로 인한 국민들의 불안감은 홍수와 태풍에 비한 자연재해 위험수위를 초과하는 비율로 조사되었다.

글_백 용

한국건설기술연구원
GEO-인프라연구실 연구위원
baek44@kict.re.kr



글쓴이는 일본 도호쿠대학 토목공학과에서 박사학위를 받았다. 국토해양부·한국도로공사 심의위원, 한국지반공학회 분과기술위원장, 대한지질공학회 이사 등을 지냈다.

오늘 내가 서 있는 땅이 갑자기 꺼져 버린다면 얼마나 당황스러울까? 실제 이런 일이 전 세계 곳곳에서 발생하고 있다. 지난 2014년 6월과 7월 서울 도심지 한복판에서 발생하였다. 또한 2013년 6월 미국 백악관 옆 도로에서도 발생하여 피해를 가져왔다. 이른바 싱크홀(sinkhole)이라는 현상이 나타났다. 국내에서 이런 싱크홀이라는 용어를 오용해서 사용하고 있는데 최근 도심지에서 발생하는 지반함몰현상은 일반적인 자연 상태에서 나타나는 싱크홀과는 다른 개념이므로 용어 사용에 주의를 기해야 할 것이다(지반침하: 지반이 다양한 요인에 의해 대규모 지역이나 일정구간에서 오랜 시간 동안 서서히 가라앉는 현상). 국내의 경우, 전형적인 싱크홀은 2005년부터 2010년까지 무안, 음성, 청원 등지에서 발생한 사례가 있었다.

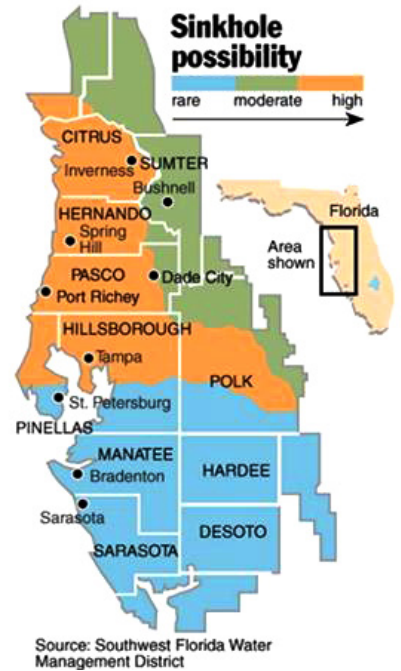
도시의 과밀화·노후화·무분별한 개발로 지반함몰 발생 증가

싱크홀의 발생원인은 주로 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 주로 지질(地質) 조건과 매우 연관이 있다. 세계에서 싱크홀이 제일 많이 발생하는 곳이 미국 플로리다주이다. 플로리다 주는 석회암으로 구성되어 있어 강우가 지하로 유입되어 기반암을 이루고 있는 석회암에 용식작용이 발생하여 지하 공동이 발생하고 공동 상부의 지반이 침하하는 형태로 싱크홀이 발생하곤 한다. 국내의 사례에서도 알 수 있듯이 무안의 싱크홀이 대표적인 석회암 용식에 의해 발생하는 현상들이다. 둘째로 지반을 구성하는 토입자(土粒子)가 지하수의 유동으로 토입자가 빠져나가 지반을 약화시키고 상부의 진동이나 하중을 견디지 못하고 지반이 붕괴되는 현상이 나타나기도 한다. 특히, 이런 현상은 도심지나 지반 상부 구조물 등이 있을 경우에 발생된다.

도심지에 나타나는 지반재해 중 지반함몰에 대한 자료를 분석한 결과 주로 4가지의 유형으로 분류를 할 수 있다. 첫째, 지반굴착공사에 의해 발생할 수 있으며 둘째, 연약 지반의 침하현상으로 인한 지반함몰이 발생한다. 셋째, 지중 매설관 파손으로 토입자의 유동으로 인한 지반함몰이 원인이 될 수 있다. 끝으로 집중호우나 발파 등 기타 요인에 의해 발생할 수 있다.

최근 발생한 자료에 의해 유형분류를 시도했으나 더욱 흥미로운 사실은 지반함몰에 대한 경향성이 더욱 뚜렷하다는 것이 지반에 대한 경각심을 불러일으키게 한다는 것이다. 최근 발생한 32개소의 함몰현상을 분석한 결과 1990년 이후에 지반함몰현상이 더욱 뚜렷하고 발생수가 증가한다는 것이다.

이런 현상에 대해 원인을 검토한 결과 몇 가지 요인으로 분석결과가 정리되었다. 도시가 과밀화하고 있다는 현실이다. 따라서 지반에 과다한 하중이 작용할 수 있다는 것이고 지하수의 무분별한 개발도 원인으로 들 수 있다. 또한 근대화와 더불어 도시시설물의 노후화가 급속히 진전되고 있다는 것이다. 도시가 발달되면서 제한된 공간에 주거와 생활이 이루어져야 하므로 각종 SOC(사회간접자본) 시설물의 지중화 설치가 일익을 한 것으로 생각된다. 지하시설물 시공이 증가하는 반면에 정밀 시공에 대한 기술이 이론에 따라가지 못하는 것이 원인이라 할 수 있다.



▶▶ 1. 미국 플로리다 주의 지반재해 위험등급도

선진국, 지반재해 관리 시스템으로 피해 최소화

외국의 지반함몰관련 기술을 살펴보면 미국의 경우 캘리포니아와 플로리다 주는 지반함몰과 관련된 재해위험등급도를 작성하여 제시하고 있다. <그림 1>은 플로리다 주의 싱크홀 위험등급도에 대한 정보제시 도면이다. 이외에도 기술적인 검토와 싱크홀 investigations protocols를 구축하고 있으며 함몰사고에 대한 데이터베이스 축적 및 싱크홀 지도 제공·지질 조사에 따른 싱크홀 발생확률을 관리하고 있다. 일반주택은 싱크홀에 대한 보험 가입을 권고하고 있다. 과학기술로는 미국항공우주국(NASA)에서 원격탐사기술을 활용하여 거대 싱크홀의 발생을 예측하고 주민을 대피시키는 기술을 개발하여 활용하고 있다. 또한 광역 지하수 관리에도 신기술 도입과 연구를 하고 있다.

일본의 경우는 국내와 환경이 매우 흡사하다. 도시과밀화와 도시 집중의 환경적인 조건이 비슷하여 많은 부분을 참고할 수 있다. 일본은 도시의 인구밀집도가 높아 인프라 시설위주로 점검 및 예방을 철저히 관리하고 있다. 일본 정부에서는 지침을 만들어 도로 및 상하수도 등 시설물에 대해 전수조사를 실시하고 관리하고 있다. 건설 후 50년이 지난 시설은 지반함몰이 많이 발생하므로 집중관리하고 있다. 국내도 1990년 이후로 도시 집중화 현상과 한강변 개발, 신도시 조성 등 많은 건설이 이루어졌다. 이제 30년이 되어 가고 있으며 이에 따른 과거 시설물에 대한 지반과 연동된 대책이 마련돼야 한다.

지반재해 대응 전략 개발 필요

국내의 경우에도 대응전략 기술을 많은 부분 가지고 있다. 그러나 아직 미흡한 부분도 없지 않다. 현재 보유하고 있는 기술과 앞으로 개발돼야 할 기술에 대해 몇 가지로 구분해 살펴보고자 한다. 첫째, 지반 구조를 조사하고 분석할 수 있는 탐사기술이다. 탐사기술은 비파괴 탐사와 파괴 탐사기술로 구분할 수 있으며 GPR(지표투과레이더)나 다중채널 표면파 탐사, 전기비저항탐사, 음향탐사, 시추공 영상촬영, 토모그래피 등이 있다. 선진국에 비해 다소 장비개발에 부족한 점이 있으나 향후 독창적인 기술개발이 이뤄져야 한다.



▶ 2. 지난 8월 29일 오후 울산시 울주군 온산읍의 한 도로에서 지름 1.2m, 깊이 1m 가량의 싱크홀이 생겨 시내버스 바퀴가 빠졌다. (연합뉴스)

둘째, 지반재해가 발생할 위치를 사전에 감지할 수 있는 예측기술이다. GIS(지리정보시스템)를 이용하여 위험도 예측지도를 만들고 도시 개발과 더불어 건물, 지하관망도 등을 분석하고 사전 조사할 수 있는 지도를 작성하는 것이다. 이는 향후에 도시계획이나 건설에 직접적으로 활용이 될 수 있는 기술이다. 국내에서는 일부 시설물에 대한 기술과 정보는 보유하고 있다. 셋째, 상하수도 유지관리 기술이다. 도시의 대정맥인 상하수 관거는 많은 문제점이 발생될 소지가 있으나 현재 하수도 점검 로봇을 개발하여 운영하고 있으며 시스템도 구축하고 있다. 기술의 발전으로 보수보강용 로봇이 개발돼 새로운 시장 창출 및 안전에 대한 사전 감지가 가능해질 것이다.

넷째, 지하수 유지관리 기술이다. 지반함몰의 직접적인 원인은 지하수의 유동과 관련이 있다고 해도 과언이 아니다. 국가 지하수 관리는 361개소의 국가 지하수 관측망과 지자체에서 1천472개소, 환경부에서 2천457개소를 활용하고 있다. 지하수 정보 센터의 데이터베이스를 활용하고 있으나 지반함몰과 연계된 분석은 다소 미흡하다. 지하수 관측망 자료와 지반함몰과의 연계 연구와 유지관리가 필요하다.

끝으로 지하구조물의 유지관리 기술이다. 현재 인력으로 점검 보수하는 시설에 대한 자동화 점검과 관측하는 기술 개발이 요구된다. 특히, 향후 10년 이후 노후시설물이 급격히 증가됨에 따라 관련 기술의 필요성이 더욱 요구된다.

지하수 변동의 주기적 계측 등 지반 연구개발 시급

요소기술과는 달리 정부와 관련 연구기관 등에 대한 정책적인 부분에 대해 제안하고자 한다. 제한된 예산과 인력운용 등 제약이 많이 있으나, 국민의 안전과 정부의 역할을 고려할 때 반드시 수행되어야 할 임무라 생각된다.

첫째, 도심지 건설공사시 계획단계에서부터 지형의 변화나 지하수의 흐름에 대한 철저한 사전 조사가 수행돼야 한다. 건설공사에서 지하수 흐름으로 인해 안전사고로 이어지는 경우가 허다하다. 따라서, 지하지반구조와 지하수의 흐름을 사전에 파악하고 공사수행시 대책을 마련해야 한다. 그리고, 도심지 공사시에는 지질 및 지반구조나 지하수의 유동에 대한 사전 파악을 철저히 하고 예상되는 인자에 대한 충분한 검토가 수행돼야 한다.

둘째, 외부 환경변화 발생시 지반 변동에 대한 계측 및 유지관리가 반드시 수행돼야 한다. 지각을 구성하는 암석에는 석회성분뿐만 아니라 토사가 일정 심도까지 분포하고 있다. 연약한 지반의 경우, 지나친 양수(揚水)로 인한 지하수위의 변동으로 지반의 무게를 견디지 못해 지반함몰이 발생한다. 연약지반의 경우, 지하수 변동 및 지반변이에 대한 주기적인 계측이 매우 중요한 관리 포인트가 된다. 급격한 지하수위의 변동은 지반을 구성하는 흡입자의 이동을 수반하므로 지반침하의 징조현상으로 간주할 수 있다.

셋째, 지반재해 위험 지역에 대한 관리와 연구개발이 이뤄져야 한다. 외국의 기술에서도 소개했지만 국내외에 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나, 국내의 기술력은 아직 미흡한 것으로 분석된다. 국내의 경우, 지반재해가 예상되는 지역의 재해위험지도(GEO-hazard map)를 작성하여 공사착공시나 공사진행시 특별관리대상으로 선정하고 유지관리를 실시할 필요가 있다. 향후, 도시화가 진행될수록 지반재해는 더욱 가시화될 것으로 예상되므로 조속히 지반에 특별한 관심을 가져야 할 것이다. 