

공포의 싱크홀

사물인터넷으로 막는다

최근 싱크홀이 사건사고 뉴스의 단골손님으로 등장하고 있다. 갑자기 도로가 무너져내려 길 가던 차 앞바퀴가 빠지는가 하면, 예고 없이 발밑이 푹 꺼지며 사람이 빨려 들어가듯 추락한다. 고층 건물이 통째로 삼켜지기도 한다. 눈에 보이지 않는 공간에서 갑작스레 만들어지는 싱크홀은 그야말로 공포의 대상이다.

김형자 과학칼럼니스트

싱크홀의 가장 큰 원인은 지하수

국토부 자료에 따르면, 2010년 이후 매년 싱크홀의 발생이 늘고 있다. 2010년 436건에서 2011년 572건, 2012년 691건, 2013년 854건, 2014년 858건, 2015년 1036건, 2016년 1039건으로 늘어났다. 도대체 멀쩡하던 도로에 왜 갑자기 구멍이 뽕뽕 뚫리는 걸까.

원래 싱크홀(sink hole)은 땅이 푹 꺼지는 ‘지반 침하’ 현상으로 형성된 자연적 구멍이다. 지반 침하를 일으키는 원인은 지하수다. 자연 상태의 싱크홀은 석회암 지대에서 자주 발생한다. 석회암의 주성분인 탄산칼슘이 지하수에 녹으면서 서서히 땅이 꺼져 내려 땅속에 빈 공간이 생긴다. 장구한 세월 동안 땅속 깊숙이 침투해 들어간 빗물이 암반의 빈 공간으로 스며들어 암반지하수를 형성하기 때문이다.

이렇게 생긴 자연적 싱크홀은 때때로 수백 미터가 넘는 웅장한 크기로 장관을 이룬다. 세계에서 가장 거대한 멕시코의 제비동굴(Cave of Swallow)이나 사리사리나마(Sarisarinama)라 불리는 베네수엘라의 거대 싱크홀은 아름다운 경관을 지닌 관광명소

로 탈바꿈했을 정도다.

하지만 도심의 싱크홀은 상황이 다르다. 우리나라의 도심에서 생겨나는 싱크홀의 원인 역시 지하수다. 지하수를 너무 끌어다 쓰면 지반을 받치고 있던 지하수가 빠져나가면서 지반에 구멍(공동)이 생겨 지표가 무너질 수 있다. 2015년 2월 20일, 멀쩡하던 도심 한복판에 뚫린 용산의 싱크홀도 공사 도중 지하수 누수로 주변 지반이 약해져 발생한 것이다. 싱크홀 바로 옆에 아파트 공사 현장이 있었던 게 원인이었다.

땅속의 낮은 수도관들도 도심 싱크홀을 부르는 위험 요소다. 낮은 상수도관에서 흘러나온 물이 주변의 퇴적물을 쓸어간 탓에 빈 공간이 생긴다. 2014년 국회의원회관 앞에서 생긴 깊이 5m짜리 싱크홀이 그 대표적인 예다. 결국 도심의 싱크홀은 과도한 지하수 이용이나 개발사업 추진 시 생기는 지하수 흐름의 교란, 상하수도관의 누수 등 인간의 활동에 의해 인위적으로 발생하는 셈이다.

설마 기껏 지하수가 빠져 나가는 것만으로 그렇게 큰 싱크홀이 만들어질까? 이는 땅속의 압력을 몰라

서 하는 소리다. 땅속 압력은 깊이가 깊을수록 높다. 2.5m 깊이마다 1기압씩 높아진다. 따라서 25m에서는 10기압, 250m 지점의 암반층은 100기압의 압력을 받는다. 그 압력을 지하수가 버티고 있는데 그 지하수가 사라진다면 어떻게 될까. 상상은 여러분의 몫이다.

사실 지질적 측면에서 볼 때, 우리나라는 싱크홀 발생 우려가 크지 않은 편이다. 국토 대부분이 단단한 화강암층과 편마암층으로 구성되어 있고, 석회암 지역은 강원도 일부 지역에만 분포하고 있어 비교적 안정적이다. 결국 우리나라에서 싱크홀이 일어나는 이유는 자연현상이 아닌 인위적인 데서 찾아야 한다. 전문가들은 대규모 토목공사나 무분별한 도시 개발을 원인으로 지목한다. 건설 과정에서 땅속을 깊게 파다 보면 지하수를 지표로 유출시키거나 지하수 흐름을 변화시킬 가능성이 높기 때문이다.

사물인터넷으로 통신 불가능한 땅속 정보를 지상으로 송신

그렇다면 싱크홀 공포에서 벗어날 방법은 없을까. 근본 대책은 무분별한 도시 개발의 중단이다. 또 지하수 관리와 함께 도시 아래 흐르는 상하수도의 관리도 중요하다. 수도관에서 누수가 일어나면 지하수와 똑같은 역할로 또 다른 싱크홀을 만들 수 있다.

가장 정확한 조사 방법은 땅을 뚫어 관찰하는 시추법이다. 땅속의 상태를 직접 볼 수 있는 것보다 확실한 건 없다. 여기에는 지표투과레이더(GPR) 방법이 많이 쓰인다. 이 장비를 이용해 땅속에 전파를 쏘면, 반사 또는 투과된 파의 속도와 파형을 분석해 싱크홀을 찾는 방식이다. 또 지표에 시추공을 뚫은 뒤 시추공을 통해 지반의 온도를 재고, 주변 지하수의 수위 변화를 주기적으로 체크하는 방법도 싱크홀 예측 기법 중 하나다. 하지만 이들 방법은 데이터 분석에 시간이 오래 걸리고 지표 가까운 곳의 상태만

관측할 수 있다. 또 이미 들어선 건물 지하의 상태는 확인할 수 없다는 단점이 있다.

이에 정부는 국가적 차원에서 싱크홀 문제의 대책을 마련하고 있다. 3년 전에 설립한 UGS(Under Ground Safety) 융합연구단도 그 중의 하나다. 연구단의 목표는 MRI 검사로 사람 몸속을 들여다보듯, 사물인터넷(IoT) 기술을 토대로 지하 공간 상태를 실시간으로 살펴서 사고를 예방하는 것이다. 이를 위해 연구단은 지하 공간 상태를 조기에 감지하여 대응할 수 있도록 하는 사물인터넷 기반의 지하 공간 그리드 시스템을 개발했다.

연구단이 개발한 핵심 기술은 상수도관 누수 확인 센서와 전방향성 안테나다. 센서는 맨홀 아래의 상수도관 제수밸브에 부착돼 미세한 진동 변화로 누수와 그것이 일어난 위치 변위까지 감지한다. 안테나는 맨홀 뚜껑 속에 매립해 땅속 센서가 감지한 지하매설물 정보들을 기지국으로 실시간 무선 송신한다. 다시 말해 땅속 센서와 지상 기지국 간의 사물인터넷이 이루어지는 셈이다. 이는 통신이 불가능한 땅속 정보를 지상으로 무선 통신 가능하도록 한 세계 최초의 사례이다. 눈으로 직접 확인하기 힘든 지하매설물 모니터링을 통해 싱크홀을 만드는 원인을 찾고 분석하여, 그것을 예방할 수 있다는 게 연구단의 설명이다.

특히 정부는 지하 공간을 한눈에 볼 수 있는 3D 통합지도를 만들어 싱크홀을 막기 위한 대책을 마련 중이다. 서울시는 1998년부터 최근까지 서울 시내 1만 5000군데를 시추한 자료를 바탕으로 ‘서울시 지반 정보 통합관리시스템’을 마련했다. 이는 확실한 땅속 정보의 ‘지질도’인 셈이다. 이를 통해 지하수의 흐름을 늘 모니터링해 나갈 예정이다. 싱크홀을 찾을 수 있는 모든 방법이 유기적으로 결합돼 하루빨리 싱크홀에서 벗어날 수 있기를 기대한다. TTA