

해저드리터러시 융합교육연구소

해저드리터러시 교육 프로그램

해저드 리터러시
융합 교육 연구소

시뮬레이션으로 분석하는 싱크홀의 발생



1. 수업 프로그램 설명

본 교육 프로그램은 중학생을 대상으로 HTML 기반 인터랙티브 시뮬레이션을 활용하여 싱크홀 발생 원리를 탐구하도록 구성되었다. 학생들은 강우량, 배관 누수량, 배관 노후도, 토양의 종류, 지표 하중, 지하 공사 여부 등 싱크홀 발생에 영향을 미치는 다양한 변인을 직접 조절하면서 지하 공동의 형성과 성장, 그리고 최종적인 지반 붕괴 과정을 실시간으로 관찰할 수 있다. 시뮬레이션은 지하 공동의 크기와 지반 위험도를 실시간으로 제시하여 변인 변화에 따른 시스템의 변화를 직관적으로 이해할 수 있도록 설계되었으며, 임계점에 도달했을 때 싱크홀이 발생하는 과정을 시각적으로 구현한다. 이를 통해 학생들은 싱크홀이 단순히 많은 비가 와서 발생하는 현상이 아니라, 지하수의 흐름, 노후 배관의 누수, 토양의 특성, 지표 하중, 지하 공사 등 다양한 자연적·인위적 요인이 상호작용한 결과임을 이해하게 된다. 또한 여러 변인을 조합하여 결과를 비교·분석하는 탐구 활동을 수행함으로써 변인 간 상호작용과 인과관계를 이해하고, 싱크홀 발생을 예방하기 위한 효과적인 관리 및 대응 방안을 과학적 근거를 바탕으로 탐색하도록 구성하였다.

수업 대상	중학교 1~3학년	교육 방법	시뮬레이션
운영 장소	컴퓨터 사용 가능한 교실	수업 시간	50분
준비물	컴퓨터 혹은 노트북		

2. 교육 프로그램 목표(해저드리터러시 연계)

① 싱크홀 발생 원리를 이해하고, 싱크홀 발생에 영향을 미치는 다양한 변인을 설명할 수 있다.

② 시뮬레이션을 활용하여 변인 변화에 따른 싱크홀 발생 위험을 탐구하고 결과를 분석할 수 있다.

③ 탐구 결과를 바탕으로 싱크홀 예방 및 대응 방안을 제안하고 안전한 사회를 위한 실천 방안을 모색할 수 있다.

목표	지식·이해		사고·기능					가치·태도			심리·정서			행동·실천		
	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3
목표①	O	O	O													
목표②			O		O	O	O									
목표③								O		O				O	O	O

3. 핵심 개념

· 지반 붕괴와 싱크홀
· 지반 침하와 지하 공동(cavity)
· 물의 흐름에 의한 침식
· 지반과 토양의 특성
· 지하수

4. 프로그램 전개

활동의 전개	
도입	·실제 싱크홀 사고 사례를 제시하여 학생들이 싱크홀의 원인에 대해 자신의 생각을 공유 ·싱크홀이 단일 원인이 아닌 다양한 요인이 복합적으로 작용하는 현상임을 인식하고 탐구 문제를 설정한다.
전개1	·지하수, 토양의 특성, 배관 누수, 지하 공동 형성 등 싱크홀 발생의 과학적 원리를 학습 ·싱크홀 발생에 영향을 미치는 주요 변인과 각 변인의 역할을 이해
전개2	·HTML 기반 시뮬레이션에서 강우량, 배관 누수량, 배관 노후도, 토양 종류, 지표 하중, 지하 공사 여부를 변화시키며 결과를 탐구 ·변인 변화에 따른 공동의 성장과 지반 붕괴 과정을 관찰하고, 싱크홀 발생 위험을 비교·분석
전개3	·시뮬레이션 결과를 바탕으로 어떤 변인이 싱크홀 발생에 가장 큰 영향을 미쳤는지 토의 ·변인 간 상호작용을 고려하여 싱크홀 예방 및 피해 저감 방안을 과학적 근거를 바탕으로 제안
정리	·싱크홀 발생은 여러 자연적·인위적 요인이 상호작용한 결과임을 정리하고 핵심 개념을 되짚어 봄 ·개인과 지역사회에서 실천할 수 있는 안전 행동과 예방 방안을 공유하며 해저드 리터러시를 함양

5. 재해·재난 이해를 위한 이론적 배경과 활동 사례

싱크홀은 지하에 형성된 공동(cavity)의 상부 지반이 붕괴하면서 발생하는 대표적인 지반재해이다. 자연적으로는 석회암 지대에서 지하수에 의해 암석이 용식되어 발생할 수 있으며, 도시에서는 노후 상하수도관의 누수, 집중호우, 지하 공사, 과도한 지하수 이용, 무거운 지표 하중 등 다양한 자연적·인위적 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다. 따라서 싱크홀은 하나의 원인만으로 설명하기 어려우며, 여러 변인이 상호작용하는 복합적인 시스템으로 이해할 필요가 있다.

최근 재해·재난 교육에서는 단순한 안전 수칙 암기를 넘어 해저드 리터러시(Hazard Literacy) 함양이 강조되고 있다. 해저드 리터러시는 재해의 발생 원리와 메커니즘을 과학적으로 이해하고, 위험을 분석·평가하며, 개인과 공동체 차원에서 예방 및 대응 방안을 실천할 수 있는 시민 역량을 의미한다. 싱크홀 교육에서도 학생들은 발생 원리를 이해하는 것에 그치지 않고, 다양한 변인이 위험도에 미치는 영향을 분석하고, 이를 바탕으로 예방 및 대응 방안을 제안하는 탐구 활동이 요구된다.

이를 위해 본 프로그램에서는 Gemini 활용 바이브 코딩을 통해 개발한 HTML 기반 인터랙티브 시뮬레이션을 활용하였다. 학생들은 강우량, 배관 누수량, 배관 노후도, 토양의 종류, 지표 하중, 지하 공사 여부 등의 변인을 직접 조절하며 지하 공동의 형성과 성장, 그리고 지반 붕괴 과정을 실시간으로 관찰한다. 또한 변인별 결과를 비교·분석하여 싱크홀 발생 위험을 평가하고, 변인 간 상호작용을 고려한 예방 방안을 탐색한다. 이러한 활동은 학생들이 싱크홀을 단순한 자연현상이 아닌 과학적 원리와 사회적 요인이 결합된 재해·재난으로 이해하도록 돕고, 안전한 사회를 위한 과학적 의사결정 능력과 해저드 리터러시를 함양하는 데 기여한다.

본 시뮬레이션에서는 강우량, 배관 누수량, 배관 노후도, 토양 종류, 비표 하중, 인근 지역 지하 굴착 공사 진행 여부 등을 학생들이 직접 조작할 수 있으며, 이에 따른 공동의 크기 변화 및 싱크홀의 발생 경과를 관찰할 수 있게 된다. 구체적인 시뮬레이션의 모습은 오른쪽 그림1과 같다.



그림1. 싱크홀 발생 매커니즘 탐구 시뮬레이션

6. 지도상 유의점

첫째, 싱크홀을 하나의 원인으로 설명하지 않도록 지도한다. 싱크홀은 강우량, 배관 누수, 토양 특성, 지하 공사 등 다양한 변인이 상호작용하여 싱크홀이 발생하기에, 이 점을 강조할 필요가 있다. 둘째, 시뮬레이션 결과를 절대적인 사실이 아닌 모델의 결과로 이해하도록 지도한다. 시뮬레이션은 실제 현상을 단순화한 모델이므로, 실제 환경에서는 더 다양한 요인이 영향을 미칠 수 있음을 안내한다. 셋째, 변인을 한 번에 하나씩 변화시키며 탐구하도록 지도한다. 여러 변인을 동시에 변경하기보다 한 가지 변인을 조작하여 결과를 비교 및 분석하도록 하여 변인의 영향을 명확히 이해하도록 한다. 넷째, 결과 제시보다 결과 해석 과정에 초점을 두도록 지도한다. 어떤 변인이 왜 영향을 미쳤는지 과학적 근거를 바탕으로 설명하고, 학생들 간 토의를 통해 다양한 해석을 공유하도록 한다. 마지막으로, 예방과 안전 행동으로 학습을 확장하도록 지도한다. 싱크홀의 발생 원리 이해에 그치지 않고, 예방 방법과 안전한 행동, 지역 사회 차원의 대응 방안을 함께 논의하도록 지도한다.

7. 참고문헌

- 국회입법조사처처(2025) 지반침하 예방을 위한 입법 및 정책방안
- 윤경조, 남부현, & 박상헌. (2025). 도심지 싱크홀 현상의 원인과 대응 방안에 대한 고찰-용어 정립부터 유출지하수, 정책 대응까지. 지반환경, 26(2), 8-11.
- 정성윤 , 정영훈 , 김동수 . (2017). 지반함몰 모형실험 연구동향 및 적용방안 고찰 . 한국방재안전학회논문집 , 10(1), 1-10.

시뮬레이션으로 분석하는 싱크홀의 발생

주제	싱크홀 발생 원리 탐색
무엇을 배울까요?	①싱크홀 발생 원리를 이해하고, 싱크홀 발생에 영향을 미치는 다양한 변인을 설명할 수 있다. ②시뮬레이션을 활용하여 변인 변화에 따른 싱크홀 발생 위험을 탐구하고 결과를 분석할 수 있다. ③탐구 결과를 바탕으로 싱크홀 예방 및 대응 방안을 제안하고 안전한 사회를 위한 실천 방안을 모색할 수 있다.

1 생각해보기

- 도심 한복판의 도로나 땅이 갑자기 꺼지는 '싱크홀 ' 은 왜 발생할까요? 자유롭게 적어보세요.



2 싱크홀의 원인 알아보기

- 다음은 싱크홀 발생에 영향을 주는 주요 요인입니다. 참고하여 구체적으로 어떻게 싱크홀 발생에 영향을 끼치는지 조사하고, 조사한 내용을 아래 작성해 봅시다.

강우량, 배관 누수, 배관 노후도, 토양 종류, 지표 하중, 지하 공사 등

[조사하기] 싱크홀 발생에 어떻게 영향을 미치나요?

- 빈칸을 채워 봅시다.

1) 물이 많이 스며들면 지하의 _____ 이(가) 씻겨 나갈 수 있다.

2) 오래된 _____은(는) 물이 새어 지반을 약하게 만든다.

3) 건물이나 차량이 많을수록 _____ 이(가) 증가한다.

4) 지하철 공사나 굴착은 _____을(를) 변화시킬 수 있다.

3 시뮬레이션으로 탐구하기

- 조건을 바꾸어가며 싱크홀 발생 위험이 어떻게 달라지는지 알아보자.



• [탐구1] 흙의 종류에 따른 차이

- 조건 설정: 강우량 50mm/h, 누수량 50%, 노후도 20년으로 동일하게 고정합니다.
- 토양 종류(모래 토양, 점토질 토양, 자갈 모래 혼합 토양)를 바꾸어 가며 싱크홀 발생할 때까지 걸린 시간과 공동의 크기를 비교해보세요.

3 시뮬레이션으로 탐구하기

• [탐구2] 건물 무게(지표 하중)와 싱크홀의 관계

- 조건 설정: 자갈-모래 혼합 토양, 누수량 30%로 고정합니다.
- Q. 지표 하중을 '경량(소형차)'에서 초중량(고층아파트)'으로 바꾸었을 때 지반이 견딜 수 있는 최대 공동 크기는 어떻게 변하나요?

• [탐구3] 지하 공사의 영향

- 다른 조건이 같을 때, 인근 지하 굴착 공사 버튼을 켰을 때와 껐을 때 위험도 변화 속도는 어떻게 다른가요?

4 정리하기

- 시뮬레이션에서 관찰한 내용을 바탕으로 싱크홀이 발생하는 과정을 정리해봅시다.

1. 오래된 배관의 균열이나 강우로 인해 지하로 _____이 흘러들어간다.
2. 흘러든 물이 흙을 씻어내면서 지하에 _____이(가) 형성된다.
3. 물의 흐름이 지속되거나 인근 _____ 가 진행되면 _____이 점점 커진다.
4. 지하 공동의 천장이 지표면의 하중을 견디지 못하면 순간적으로 무너지면서 _____이 발생한다.

- 여러분이 우리 도시의 싱크홀 예방 안전관제관이 되었다고 상상해 봅시다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 우리 동네에서 싱크홀을 예방하기 위해 가장 먼저 실시할 사업 2가지를 제안하고 그 이유를 작성해 보아요.

- 오늘 수업을 통해 새롭게 알게 된 점이나 느낀 점이 있다면 적어봅시다.