

싱크홀 시뮬레이션 시스템 아키텍처

NetLogo v7.7 - 요소 간 관계 및 데이터 흐름도

입력 파라미터 (사용자 조절)

강우 강도
rainfall-intensity

지하수 변화율
groundwater-change-rate

굴착 깊이
excavation-depth

다짐도
compaction-degree

관로 상태
pipe-condition

지표 하중
surface-load

토양 타입
soil-type-selection

지하수 깊이
initial-groundwater-depth

패치 속성 (공간 데이터)

수분 포화도
water-saturation

토양 밀도
soil-density

투수성
permeability

관로 건강도
pipe-health

공동 존재
has-cavity?

공동 부피
cavity-volume

지층 타입
layer-type

에이전트 (터틀)

토양 입자
soil-particles

지하수 흐름
water-flows

공동
cavities

지표 하중체
persons

프로세스 (매 틱 실행)

침식 프로세스
pipe-erosion, erode-particles

공동 확장
expand-cavities

붕괴 판정
check-collapse

통계 업데이트
update-statistics

전역 출력 변수 (모니터링)

총 토양 유실
total-soil-loss

전체 공동 크기
cavity-size

위험 지수
danger-index

유효 응력
effective-stress

붕괴 발생
collapse-occurred?

붕괴까지 시간
time-to-collapse

범례

입력 파라미터

패치 속성

에이전트

프로세스

출력 변수

데이터 흐름

직접 영향

피드백 루프

붕괴 경로

핵심 관계식:

침식확률 = base × water_factor × rain_factor × excavation_factor × compaction_factor

위험지수 = cavity_factor(max 50) + soil_loss_factor(max 30) + load_factor(max 20)

붕괴조건 = support_strength < load_pressure (지지력 < 하중압력)

핵심 피드백 루프

관로 악화 루프

관로 손상 → 누수 증가 → 침식 가속 → 추가 손상

공동 확산 루프

공동 생성 → 부피 증가 → 임계값 초과 → 주변 확산

붕괴 유발 루프

토양 유실 → 지지력 감소 → 공동 성장 → 붕괴

붕괴 타입 결정

- Punching: 다짐도 < 55% 또는 지하수변화율 > 12 → 좁고 깊은 험몰 (빨간색)
- Trough: 그 외 → 넓고 얕은 험몰 (밝은 빨간색)