

# GISpipe 탁도 모델 – 사용자 매뉴얼

## 1. 모델 소개

### 이 모델은 무엇인가요?

상수도 관망에서 탁도가 어떻게 변하는지 예측하는 시뮬레이션 모델입니다. EPANET으로 수리 해석을 한 뒤, 이 MSX 모델을 추가로 실행하면 관망 내 모든 지점의 탁도 변화를 시간대별로 확인할 수 있습니다.

### 어떤 현상을 예측할 수 있나요?

- 노후 관로에서 탁도가 높아지는 구간 진단
- 관세척 시 퇴적물이 얼마나 빠르게 제거되는지
- 수요 급변(아침/저녁 피크) 시 탁수 발생 시점 예측
- 밸브 개폐 후 정체 구간의 탁수 발생
- 수원 전환 시 높은 탁도가 관망 말단까지 도달하는 시간
- 관 파손/오염 유입 시 영향 범위와 정상화 시간
- 배수지 체류 시간에 따른 탁도 변화
- 장기(30일+) 퇴적물 축적 순위 → 관세척 우선순위 결정

### 모델이 추적하는 3가지 탁도 상태

이름	의미	현장 측정
이동성 탁도 (TURB_MOBILE)	물속을 떠다니는 자유 탁도 입자	✓ 탁도계로 직접 측정
결합성 탁도 (TURB_BOUND)	관벽 표면에 느슨하게 걸린 입자	✗ 직접 측정 불가
퇴적물 (DEPOSIT)	관벽에 강하게 고착된 침전물	✓ 관세척 시 측정 가능

**참고:** 결합성 탁도는 모델 내부에서 사용하는 가상의 상태입니다. 관세척 실험에서 유속을 조금만 올려도 나오는 부분(결합성)과 유속을 많이 올려야 나오는 부분(퇴적물)을 구분하기 위한 것입니다. 초기값은 보통 0으로 두면 됩니다.

## 2. GISpipe 입력 항목

### 2.1 기본 설정

입력 항목	기본값	설명
수두손실 공식	Hazen-Williams	GISpipe 파일의 [OPTIONS] Headloss 설정과 동일하게 선택
MSX 계산 간격	300초	수질 계산 간격. 300초(5분) 이하 권장

### 2.2 반응 속도 상수

물속 탁도 입자가 관벽에 붙고, 떨어지고, 사라지는 과정의 속도를 결정하는 값들입니다.

입력 항목	기본값	단위	의미
탈착률	0.08	1/hr	관벽에 느슨하게 붙은 입자가 다시 물속으로 떨어지는 속도
기본 재부유율	0.05	1/hr	유속과 무관하게 퇴적물이 물속으로 돌아오는 배경 속도
유속 의존 재부유 계수	SI: 0.10 / US: 0.03	SI: 1/hr per m/s, US: 1/hr per ft/s	유속이 빠를수록 퇴적물이 더 많이 떨어져 나오는 정도
자연 감쇠 (이동성)	0.02	1/hr	물속 탁도가 자연적으로 줄어드는 속도 (응집, 침전 등)
자연 감쇠 (결합성)	0.01	1/hr	관벽에 붙은 탁도가 자연적으로 줄어드는 속도

### 2.3 기본 부착·침전 속도

관로의 노후도에 따라 자동 조정되는 값의 기준(신규관 기준)입니다.

입력 항목	기본값	단위	의미
기본 부착 속도	0.15	1/hr	물속 탁도가 관벽 표면에 느슨하게 달라붙는 속도 (신규관 기준)
기본 침전 속도	0.12	1/hr	물속 탁도가 관벽에 강하게 가라앉는 속도 (신규관 기준)

이 값들은 EPANET의 관로 조도계수를 이용해 관로마다 자동으로 조정됩니다. 노후 관로(거친 표면)일수록 부착과 침전이 빨라 집니다.

### 2.4 조도계수 기준값

선택한 수도손실 공식에 따라 "신규관"의 기준 조도계수를 설정합니다.

수도손실 공식	기준값 항목	기본값	의미
Hazen-Williams	기준 C	130	C가 높을수록 매끄러운 관 (신규)
Darcy-Weisbach	기준 $\epsilon$ (mm)	0.05	$\epsilon$ 가 낮을수록 매끄러운 관 (신규)
Chezy-Manning	기준 n	0.010	n이 낮을수록 매끄러운 관 (신규)

#### 조도계수와 노후도의 관계:

- Hazen-Williams: C가 낮으면 노후 → 부착/침전 속도 증가
- Darcy-Weisbach:  $\epsilon$ 가 높으면 노후 → 부착/침전 속도 증가
- Chezy-Manning: n이 높으면 노후 → 부착/침전 속도 증가

어떤 공식을 사용하든 "노후한 관로에서 탁도가 더 많이 쌓인다"는 동일한 물리적 결과를 냅니다.

### 2.5 초기 조건

시뮬레이션 시작 시점의 관망 상태를 설정합니다.

입력 항목	기본값	단위	의미
초기 이동성 탁도	0.00	NTU	시뮬레이션 시작 시 관망 내에 이미 존재하는 탁도
초기 결합성 탁도	0.00	NTU	보통 0으로 둡니다 (직접 측정 불가)
초기 퇴적물 배율	1.0	배	조도계수 기반 자동 산출값에 곱하는 배율. 0=깨끗, 2=오래 방치

### 초기 이동성 탁도 vs 수원 탁도:

- 초기 이동성 탁도 = 시뮬레이션 시작 순간 관망에 이미 남아 있는 잔류 탁도 (스냅샷)
- 수원 탁도 = 정수장에서 지속적으로 유입되는 처리수 탁도 (아래 2.6에서 설정)
- 이 두 값은 독립적입니다

## 2.6 수원 설정

정수장에서 관망으로 유입되는 탁도를 설정합니다. 여러 수원을 추가할 수 있습니다.

입력 항목	설명
수원 노드 ID	탁도가 유입되는 EPANET 노드 (예: 정수장 출구 노드)
수원 탁도	정수장 유출 탁도 (NTU). 예: 0.5 NTU
시간 패턴 사용	체크 시: 시간대별 탁도 변동 / 해제 시: 일정한 탁도
시간 패턴	24개 배율값 (각 시간대별). 예: 아침 피크 시 1.4, 새벽 0.7

## 2.7 비상 주입 설정

관 파손이나 오염 유입 같은 비상 상황을 시뮬레이션할 때 사용합니다.

입력 항목	설명
비상 주입 사용	체크 시 활성화
주입 노드 ID	오염이 유입되는 노드
주입 탁도	오염수 탁도 (NTU). 예: 50 NTU
지속 시간	오염 유입 지속 시간 (시간). 예: 3시간
주입 방식	SETPOINT (해당 노드 탁도를 지정값으로 고정)

## 3. 시나리오별 사용 가이드

### 시나리오 1. 현재 관망 상태 진단

**목적:** 평상시 관망에서 탁도가 높게 형성되는 구간을 찾아냅니다.

#### GISpipe 설정:

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.1 NTU
초기 퇴적물 배율	1.0
수원	Node ID, 0.5 NTU, 패턴 없음
비상 주입	사용 안 함

**GISpipe:** 변경 없음 (현재 운영 조건 그대로)

**시뮬레이션:** 24시간

**결과 확인:** 관로별 이동성 탁도(TURB\_MOBILE) 값을 비교하여 탁도가 높은 구간(주로 노후관, 말단부)을 식별합니다.

---

## 시나리오 2. 관세척 효과 예측

**목적:** 노후 관로의 관세척 시 퇴적물 제거 속도와 하류 탁수 영향을 예측합니다.

### GISpipe 설정:

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.1 NTU
초기 퇴적물 배율	<b>2.0</b> (오래 관세척하지 않은 관로)
수원	Node ID, 0.5 NTU, 패턴 없음
비상 주입	사용 안 함

### GISpipe 변경 필요:

- 관세척 대상 하류 소화전 노드에 대량 수요 추가 (예: N6에 50 LPS, 2~6시간)
- 수요 패턴으로 개방/폐쇄 시간 설정

### 결과 확인:

- 관세척 관로의 퇴적물(DEPOSIT) 감소 곡선
  - 하류 노드의 이동성 탁도(TURB\_MOBILE) 스파이크 크기와 지속 시간
  - 관세척 종료 후 정상화까지 걸리는 시간
- 

## 시나리오 3. 수요 급변 시 탁수 예측

**목적:** 아침/저녁 피크 시간대에 유속 변화로 인한 탁수 발생 시점을 예측합니다.

### GISpipe 설정:

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.1 NTU
초기 퇴적물 배율	1.0
수원	Node ID, 0.5 NTU, <b>시간 패턴 사용</b>
수원 패턴 (24시간)	아래 참조

수원 패턴 예시 (24시간, 시간별 배율):

00~05시	06~11시 (아침 피크)	12~17시	18~23시 (저녁 피크)
0.80 0.70 0.70 0.70 0.80 0.90	1.20 <b>1.40</b> 1.30 1.10 1.00 1.00	1.00 0.90 0.90 1.00 1.10 1.30	<b>1.40</b> 1.20 1.00 0.90 0.80 0.80

**GISpipe 변경:** 수요 패턴에 동일한 피크 배율 적용

**시뮬레이션:** 48시간 (2일 반복 관찰)

### 결과 확인:

- 아침 피크(7~8시) 후 이동성 탁도 상승 시점
  - 유속 최대 시점과 탁도 최대 시점 사이의 시간 지연
  - 탁수 민원이 발생할 수 있는 시간대 식별
- 

## 시나리오 4. 밸브 개폐 영향 예측

**목적:** 밸브 보수를 위한 폐쇄/재개방 시 정체 구간의 탁수 발생을 예측합니다.

**GISpipe 설정:**

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.1 NTU
초기 퇴적물 배율	1.5 (정체 구간은 침전물이 다소 많음)
수원	Node ID, 0.5 NTU, 패턴 없음
비상 주입	사용 안 함

**GISpipe 변경 필요:**

- [CONTROLS] 섹션에서 밸브 개폐 스케줄 설정
- 예: LINK V1 CLOSED AT TIME 6 / LINK V1 OPEN AT TIME 8

**결과 확인:**

- 밸브 폐쇄 중 정체 구간의 퇴적물(DEPOSIT) 축적
- 밸브 재개방 직후 이동성 탁도(TURB\_MOBILE) 급등 크기
- 영향 받는 하류 노드 범위

---

**시나리오 5. 관로 노후도 비교**

**목적:** 관로 갱생 사업 우선순위를 정하기 위해 신규관 vs 노후관의 탁도 차이를 비교합니다.

**방법:** 동일한 관망에서 조도계수만 바꿔서 **2번 실행**합니다.

	실행 A (신규)	실행 B (노후)
초기 퇴적물 배율	0.0 (깨끗)	1.0
INP 조도계수	C=130 (또는 $\epsilon=0.05$ , $n=0.010$ )	C=80 (또는 $\epsilon=2.0$ , $n=0.025$ )

**결과 비교:** 실행 A vs B의 이동성 탁도 평균값 차이, 퇴적물 축적 속도 차이

---

**시나리오 6. 수원 전환**

**목적:** 정수장 A를 보수하고 정수장 B로 전환할 때, 높은 탁도가 관망에 전파되는 경로와 시간을 예측합니다.

**GISpipe 설정:**

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.3 NTU (기존 수원 A의 잔류 탁도)
수원 1	Node ID-A, 0.3 NTU, 패턴: [1×12시간, 0×12시간] (12시간 후 차단)
수원 2	Node ID-B, 0.8 NTU, 패턴: [0×12시간, 1×12시간] (12시간 후 개시)

**GISpipe 변경:** [CONTROLS]에서 펌프 A 12시간째 OFF, 펌프 B 12시간째 ON

**시뮬레이션:** 48시간

**결과 확인:** 수원 B(0.8 NTU)의 탁도 전파 경로, 관망 말단 도달 시간

---

**시나리오 7. 비상 상황 (관 파손 / 오염 유입)**

**목적:** 외부 오염수 유입 시 영향 범위와 정상화 시간을 예측합니다.

**GISpipe 설정:**

항목	설정값
초기 이동성 탁도	0.1 NTU
수원	Node ID, 0.5 NTU, 패턴 없음 (정상 수원 유지)
비상 주입	✔ 사용
주입 노드	Node ID
주입 탁도	<b>50 NTU</b>
지속 시간	<b>3시간</b>
주입 방식	SETPOINT

**GISpipe:** 변경 없음

**시뮬레이션:** 24시간 (오염 3시간 + 정상화 관찰 21시간)

**결과 확인:**

- 오염 영향을 받는 노드 수
- 각 노드의 이동성 탁도 최대값과 도달 시간
- 오염 중단 후 정상화(0.5 NTU 이하) 소요 시간

**시나리오 8. 배수지 운영 최적화**

**목적:** 배수지(탱크) 체류 시간이 탁도에 미치는 영향을 비교합니다.

**GISpipe 설정:**

항목	설정값
초기 이동성 탁도	<b>0.3 NTU</b> (배수지 잔류 탁도)
초기 결합성 탁도	<b>0.05 NTU</b>
수원	Node ID, 0.5 NTU, 패턴 없음

**방법:** 동일한 MSX, GISpipe만 바꿔서 2번 실행

케이스	탱크 수위 범위	체류 시간
A	Min 2m ~ Max 8m	긴 체류
B	Min 5m ~ Max 7m	짧은 체류

**결과 비교:** 탱크 유출 노드의 이동성 탁도 시계열

**시나리오 9. 장기 퇴적물 축적 (관세척 우선순위)**

**목적:** 깨끗한 상태에서 30일간 어떤 관로에 퇴적물이 가장 빠르게 쌓이는지 예측합니다.

**GISpipe 설정:**

항목	설정값
----	-----

초기 이농성 탁도	0.1 NTU
초기 퇴적물 배율	<b>0.0</b> (깨끗한 상태에서 시작)
수원	Node ID, 0.5 NTU, <b>시간 패턴 사용</b>
수원 패턴	24시간 일상 변동 패턴

**GISpipe 변경:** DURATION 720:00 (30일), REPORT TIMESTEP 1:00

**결과 확인:**

- 30일 후 관로별 퇴적물(DEPOSIT) 값 순위
- DEPOSIT이 높은 관로 순서 = **관세척 우선순위**

## 4. 시나리오 설정 요약

시나리오	초기 탁도	퇴적물 배율	수원	비상	INP 변경
1. 현재 진단	0.1	1.0	Node ID, 0.5, 일정	-	없음
2. 관세척	0.1	<b>2.0</b>	Node ID, 0.5, 일정	-	소화전 수요
3. 수요 급변	0.1	1.0	Node ID, 0.5, <b>패턴</b>	-	수요 패턴
4. 밸브 개폐	0.1	<b>1.5</b>	Node ID, 0.5, 일정	-	밸브 스케줄
5. 노후도 비교	0.1	0.0 / 1.0	Node ID, 0.5, 일정	-	조도계수 변경
6. 수원 전환	<b>0.3</b>	1.0	<b>Node ID-A+B, 전환</b>	-	펌프 ON/OFF
7. 비상 상황	0.1	1.0	Node ID, 0.5, 일정	<b>Node ID, 50NTU, 3h</b>	없음
8. 배수지	<b>0.3</b>	1.0	Node ID, 0.5, 일정	-	탱크 수위
9. 장기 축적	0.1	<b>0.0</b>	Node ID, 0.5, <b>패턴</b>	-	30일 시물

**핵심:** MSX 반응식은 9개 시나리오 모두 동일합니다. GISpipe에서 입력값만 바꾸면 됩니다.

## 5. 입력값 조정 가이드

### 초기 퇴적물 배율은 어떻게 정하나요?

상황	권장 배율
최근 관세척한 관로	0.0 ~ 0.5
평소 상태	1.0
정체 구간, 밸브 주변	1.5
오래 관세척하지 않은 관로	2.0 ~ 3.0

### 수원 탁도는 어떻게 정하나요?

실제 정수장 유출수 탁도 데이터를 사용합니다. 일반적으로 0.1~1.0 NTU 범위입니다. 정수장 운영 기록에서 최근 평균값을 사



- **Rossman (2000):** EPANET 수질 모델링의 1차 반응속도 접근법

## 모델 한계

1. 모든 반응이 농도에 비례하는 1차 반응으로 가정합니다
2. 배수지(탱크) 내부의 침전/재부유는 모사하지 못합니다 (EPANET-MSX 구조적 제약)
3. 입자 크기 분포, 수온 영향, 생물학적 성장은 고려하지 않습니다
4. 기본 매개변수는 문헌 기반 출발값이며, 현장 데이터로 보정이 필요합니다