

발 밑이 위험해요!

# 땅 꺼짐



발 밑이 위험해요!

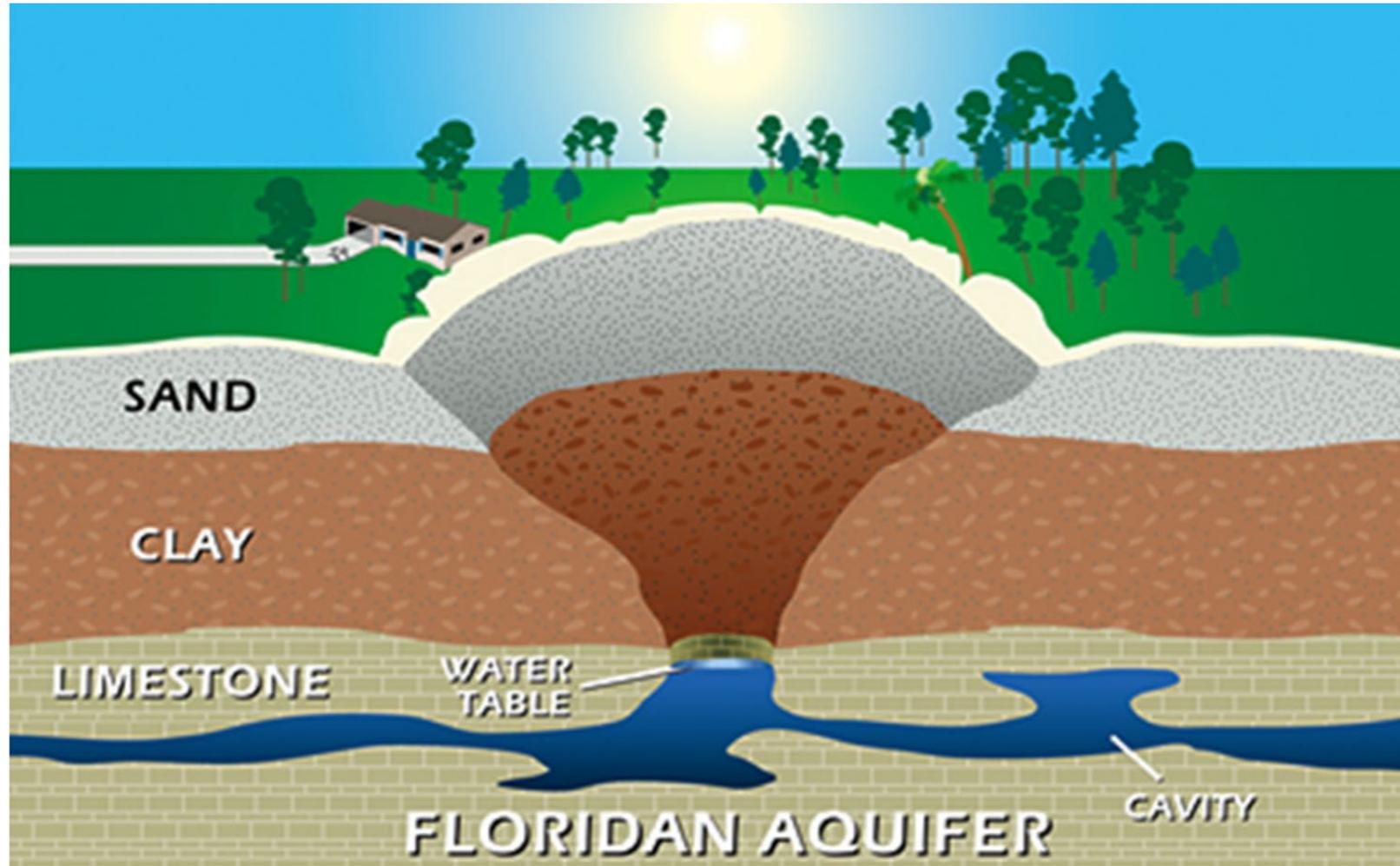
땅 꺼짐

## 들어가기에 앞서

우리 사회가 겪고 있는  
땅꺼짐과 싱크홀은 같은 걸까요?

**그 차이를 알아 봅시다**

# 자연발생 싱크홀



- 석회암이나 화산재층에서 균열부 등에 물이 집중 침투되면서 지반의 성분이 물에 녹거나 침식되어 큰 공동으로 확대되면서 지반이 붕괴되는 현상, 미국 플로리다주, 남미 과테말라 등에서 대규모로 발생

# 도로손상의 구분



- 도로함몰, 도로침하 (road subsidence)
- 지하수 변동, 지하매설물 손상, 공사장 관리 부실 등



- 부등침하(不等沈下) (differential settlement)
- 다짐 불량, 압밀 침하 등



- 포트홀(pothole)
- 강우, 강설 등으로 포장의 손상

- 국내 지하안전법은 '지반침하'를 지하개발 또는 지하시설물의 이용·관리 중에 주변 지반이 내려앉는 현상을 말한다고 정의하고 있으며, 영어버전으로는 'ground subsidence'로 표현하고 있으며, 이는 도로함몰을 포함하는 개념임

# 땅꺼짐 발생 원인의 분류

땅꺼짐

자연적 싱크홀

인공적 싱크홀 (도로함몰, 노면함몰 등)

- 도로시설물의 영향
- 지하매설물의 영향
- 지하수의 영향
- 공사장의 영향
  - 건축공사장 지하 터파기
  - 터널공사
    - NATM
    - Shield TBM



※ 포트홀 - 아스팔트 표면의 탈락: 주행 차량의 사고 위험



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

# 발표 순서

1. 국내외 주요 발생 사례
2. 발생 빈도
3. 발생 메커니즘
4. 매설물·시설물에 의한 함몰
5. 굴착공사로 인한 함몰
6. 땅꺼짐 대책
  - 1) 공동탐사
  - 2) 노면함몰관련지도
  - 3) 공동보수
  - 4) 하수도시설 노후화 대책
  - 5) 굴착공사장 관리
7. 연구 개발 및 교육훈련
8. 향후 과제

## 01. 국내외 주요 발생 사례

### 기인지우(杞人之憂)

<열자> 천서편에 나오는 우화

옛날에 기나라 사람이 하늘이 무너지고 땅이 꺼지면 어떡하나 하는 걱정에 침식을 폐함

사람들은 쓸데없는 걱정이라는 의미로 기우(杞憂)라 함

**정말 땅이 꺼질까 하는 걱정이 지금도  
기우(杞憂)에 불과할까요?**

# 국내 주요 사례



- 2025.04.13 05:00
- 부산시 사상구 학장동
- 전날에 이어 잇달은 땅꺼짐
- 2024.09월 화물차 2대 추락  
등 총 16회 땅꺼짐 발생
- 도시철도 사상~하단선(5호선)



- 2025.04.11 15:13
- 경기도 광명시 일직동
- 사망 1명, 부상 3명
- 2,444명 피난
- 신안산선 5-2공구
- 2-arch 구조 터널 균열



- 2025.03.24 18:24
- 서울시 강동구 명일동 대명초교
- 사망 1명, 부상 1명
- 오토바이 1대 추락
- 9호선 터널공사장(NATM)
- 주변 주유소 균열 등 사전 징후

# 국내 주요 사례



- 2024.08.29 11:30
- 서울시 서대문구 연희동 성산로
- 부상 1명
- 승용차 1대 추락
- 다음날 주변 도로 재 침하



- 2022.08.03 06:40
- 강원도 양양군 낙산해수욕장
- 땅꺼짐으로 편의점 붕괴
- 생활형 숙박시설 신축현장
- 땅꺼짐 수차례 반복 발생



- 2021.12.31 11:34
- 경기도 고양시 일산동구 마두동
- 지반침하로 건물 붕괴 위험
- 일산 백석동, 대화동 등 반복적 땅꺼짐 발생 중

# 국내 주요 사례



- 2020.08.26
- 경기도 구리시 교문동 체육관로
- 지하철 8호선 연장 별내선 공사
- NATM 터널 시공 중 연약지반  
지반보강 미흡으로 발생



- 2015.02.20 14:00
- 서울시 용산구 용산역 앞
- 행인 2명 추락
- 대형건축공사장 옆 보도
- 공사장 토사 유실이 원인



- 2014.08.14
- 서울시 송파구 석촌지하차도  
하부에 길이 80m 공동 발견
- 지하철9호선 공사장 상부  
(실드TBM공법)

# 해외 주요 사례



- 2025.01.28 10:00
- 사이타마현 야시오<sup>八潮</sup>시
- 트럭 1대 추락
- 사고 당시 행방불명된 운전자 시신 5.1일 발견
- 지하 10m에 매설된 하수관의 손상이 원인으로 추정



- 2024.09.26
- 히로시마시 서구
- 하수관 터널공사 (실드 TBM)
- 폭 40m 규모의 땅꺼짐 발생
- 주변 건물이 기울어지는 피해



- 2020.10.18
- 도쿄도 조후<sup>調布</sup>시
- 47m 하부 터널공사(실드 TBM)
- 도쿄외곽순환도로(칸에츠<sup>関越</sup>~ 토메이<sup>東名</sup>) 동일본고속도로 시행
- 보수공사 과정에서 약 30채의 주택 매입, 이전 및 철거(19채)

# 해외 주요 사례



- 2020.06.12(1차), 30(2차)
- 소테츠·도큐 相鉄·東急 직통선  
신요코하마 터널 공사 중 2차에  
걸쳐 함몰 발생
- 실드 TBM 공법 적용



- 2016.11.08 04:25
- 후쿠오카시 하카다역(博多駅)
- 하부 시영지하철 나나쿠마선  
연장 공사 시행 중 사고  
(NATM공법)
- 터널 내 누수 발견 즉시 작업자  
대피 및 주변도로 통제



- 2025.02.17
- 영국 쉘리주 Godstone 중심가
- 상수도관 파열이 원인 추정
- 19m 이상의 땅꺼짐 발생
- 주변 30세대 대피

# 해외 주요 사례



- 2014.02.09
- 영국 버킹엄셔주 High Wycombe 주택가
- 차량 1대 추락
- 석회암(백악, chalk) 폐광산과 빗물의 영향 추정



- 2018.02.14 18:00
- 이탈리아 로마 발두이나
- 차량 6대 파손
- 주변 20여 가구 대피
- 건설현장 흙막이벽 붕괴가 원인 (지속적 누수 발생)



- 2016.05.25
- 이탈리아 피렌체 베키오 다리 인근 강변도로 함몰(200m)
- 차량 20여 대 파손
- 상수도관 파열이 원인 추정
- 호안의 손상이 원인일 수도

# 해외 주요 사례



- 2025.06.02
- 미국 LA Ventura
- 차량 2대 추락
- 아파트 건설현장 관리 부실



- 2017.01.17 08:00
- 미국 조지아주 홀카운티
- 트럭 추락
- 노후 배수관(old storm drain) 붕괴로 추정



- 2016.12.05
- 미국 텍사스주 샌안티니오
- 차량 2대 추락
- 여성경찰관 1명 사망, 2명 부상
- 폭우와 하수관 파손이 원인 (하수관 연결 부위 부실설계)



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 02. 땅꺼짐의 발생 빈도

### 땅이 꺼지는 일

지금도 세계 곳곳에서 일어나고 있습니다.

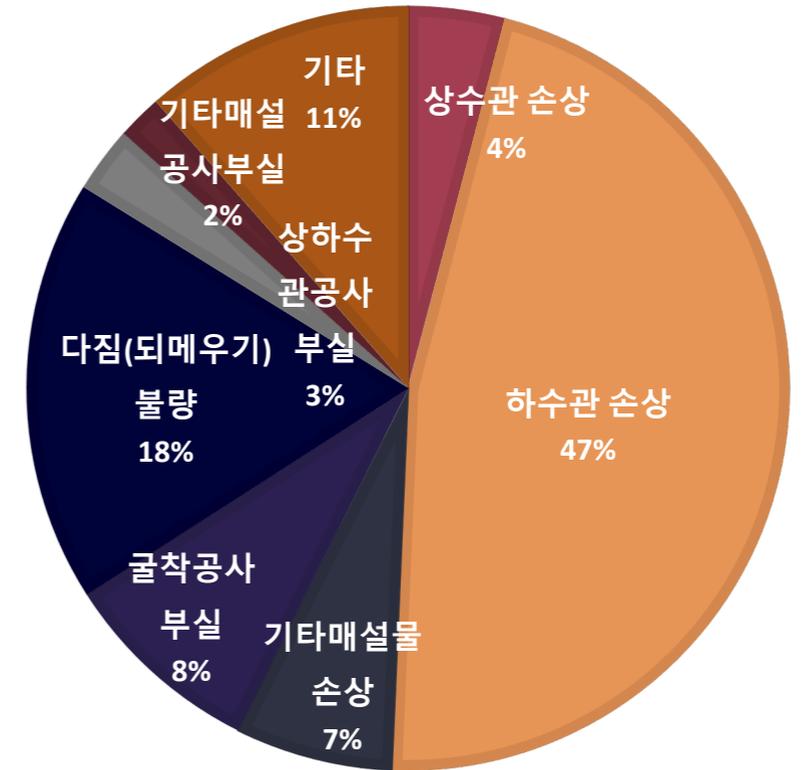
땅이 꺼지는 것을 걱정하는 것은 더 이상 기우가 아닙니다.

**그러면 도대체 땅꺼짐은 얼마나 자주  
그리고 왜 일어나는 걸까요?**

# 지반침하 사고발생 현황(국내)

(출처: 국토안전관리원, "2024 지하안전 통계연보 및 제2차 지하안전관리기본계획")

구분	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	전체
전체	193	284	142	177	161	957
상수관 손상	8	7	9	7	8	39
하수관 손상	98	134	61	84	69	446
기타매설물 손상	8	19	5	12	20	64
굴착공사 부실	10	17	20	22	13	82
다짐(되메우기) 불량	22	57	28	31	33	171
상하수관공사 부실	3	15	3	4	2	27
기타매설공사 부실	8	1	0	2	7	18
기타	36	34	16	15	9	110



- 연간 전국적으로 142~284건 발생, **매년 평균 191건 발생**
- 하수관 손상이 약 47%를 차지하고, 굴착공사 부실이 8%를 점유

구분	지하시설물 파손			다짐(되메우기) 미흡	굴착공사 부실	상하수공사 부실	기타매설공사 부실	기타 (연약지반)
	하수관 파손	상수관 파손	기타매설물 파손					
사고건수	610건	81건	88건	248건	95건	39건	28건	147건
발생비율	45.7%	6.1%	6.6%	18.6%	7.1%	2.9%	2.1%	11.0%

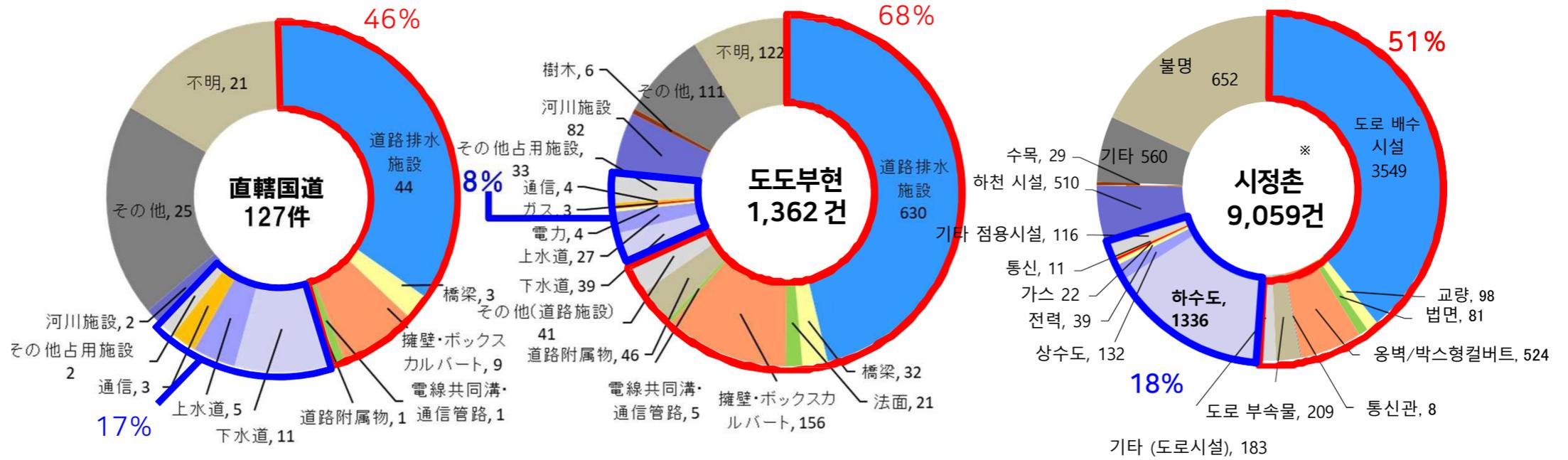
사고빈도 多    피해도 大    제도권 外

# 도로함몰 발생 현황(일본)

(출처: 일본 국토교통성 및 일본 제4회 노면하공동대책연락회(2023년)  
자료 중 도쿄대학 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

2022年度

총 약 10000pcs



\* 포트홀 제외

- 도로시설물로 인한 함몰
- 도로점용물로 인한 함몰

**기타 주요 항목**

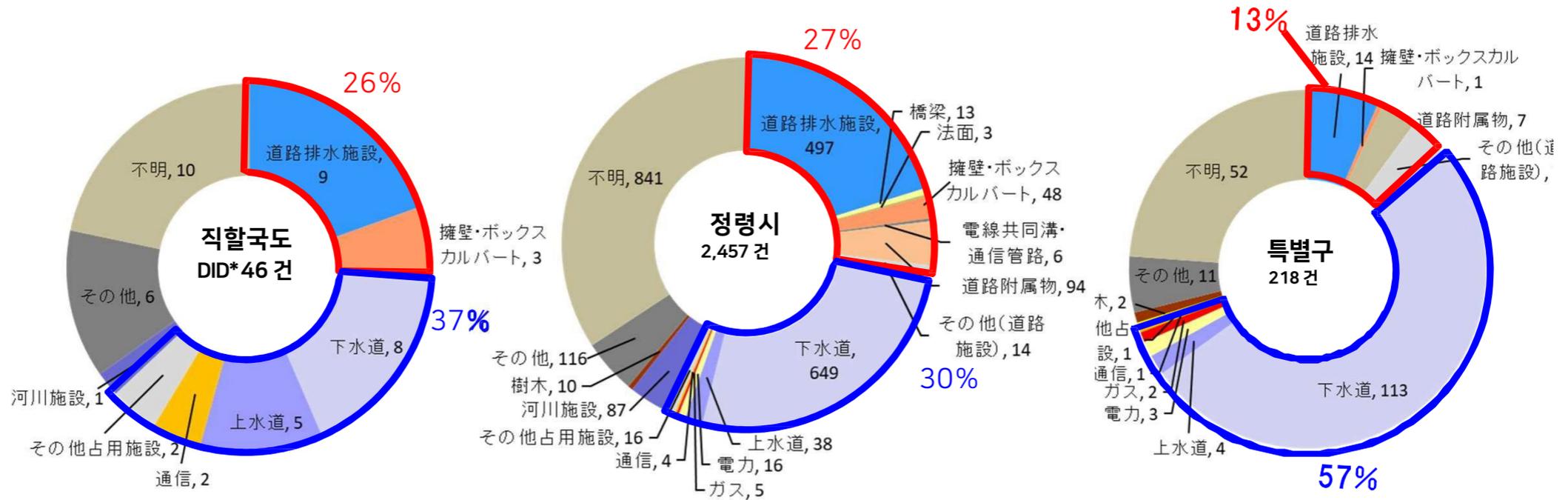
수로, 해안시설(제방 등), 개인 수영장, 우물, 매장물, 배수로, 샘물(수로), 지하수 등

\*정령시, 특구 포함

# 도시 도로함몰 발생 현황(일본)

(출처: 일본 국토교통성 및 일본 제4회 노면하공동대책연락회(2023년)  
자료 중 도쿄대학 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

2022年度



\* 포트홀 제외

※ DID: 인구집중지역

- 도로시설물로 인한 함몰
- 도로점용물로 인한 함몰

**도시에서는 도로점용물건의 비율이 높고, 특히 하수도에 의한 함몰 비율이 높음**  
원인이 분명하지 않은 것도 다수

## 궁금증 하나

일본은 매년 전국에서 10000건의 도로함몰이 일어나는데  
한국은 평균 200개도 안 됩니다.

**이게 정말 일까요?**

# 나라의 크기와 발생건수



한국

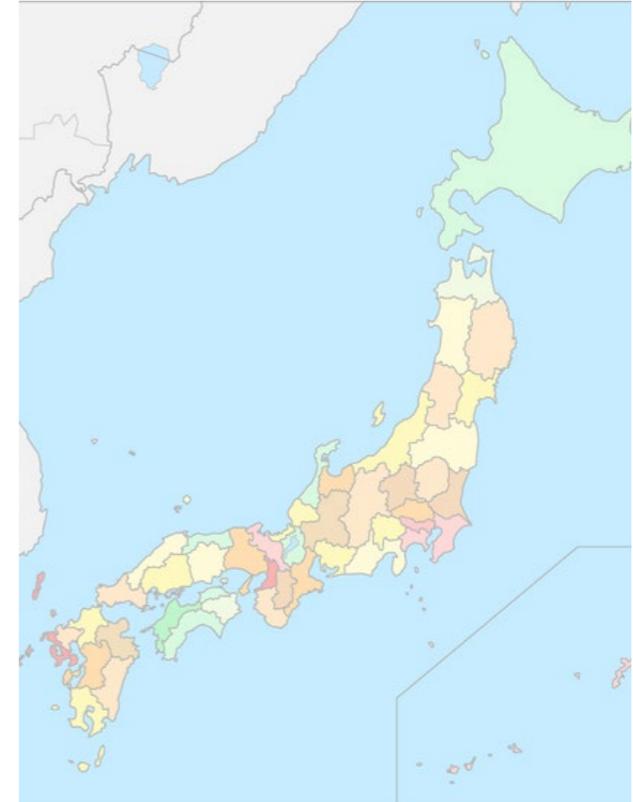
100,410 km<sup>2</sup>

연간 약 190건

일본

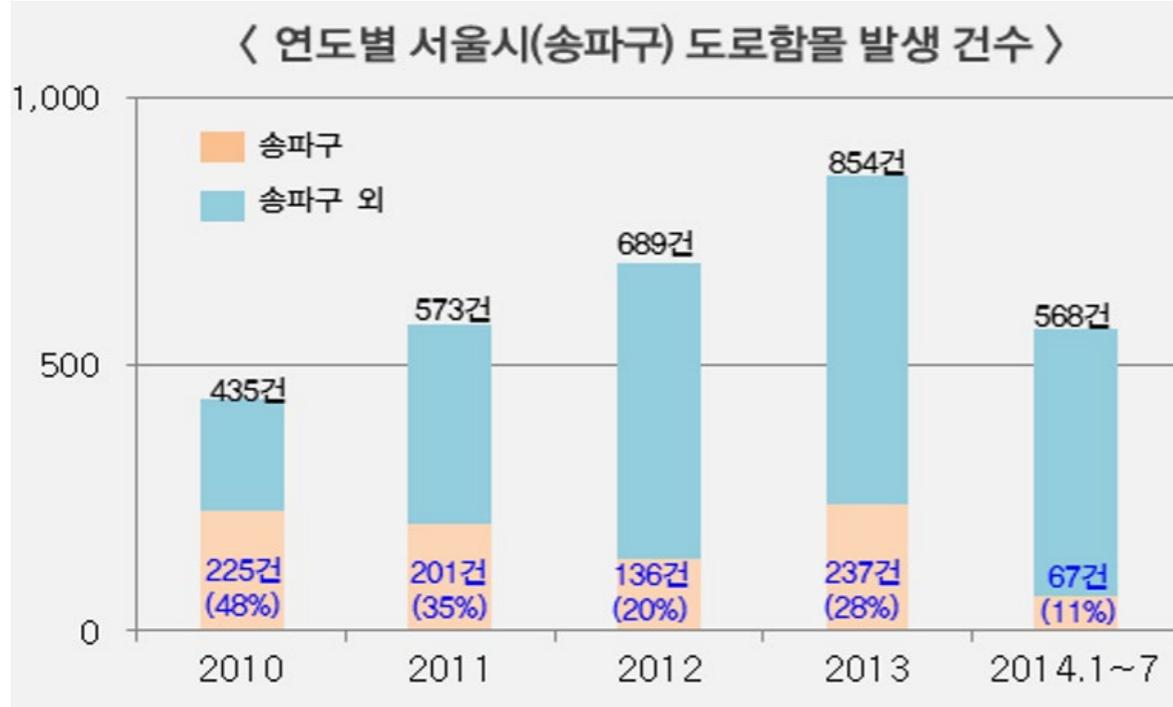
377,975 km<sup>2</sup>

연간 약 10000건

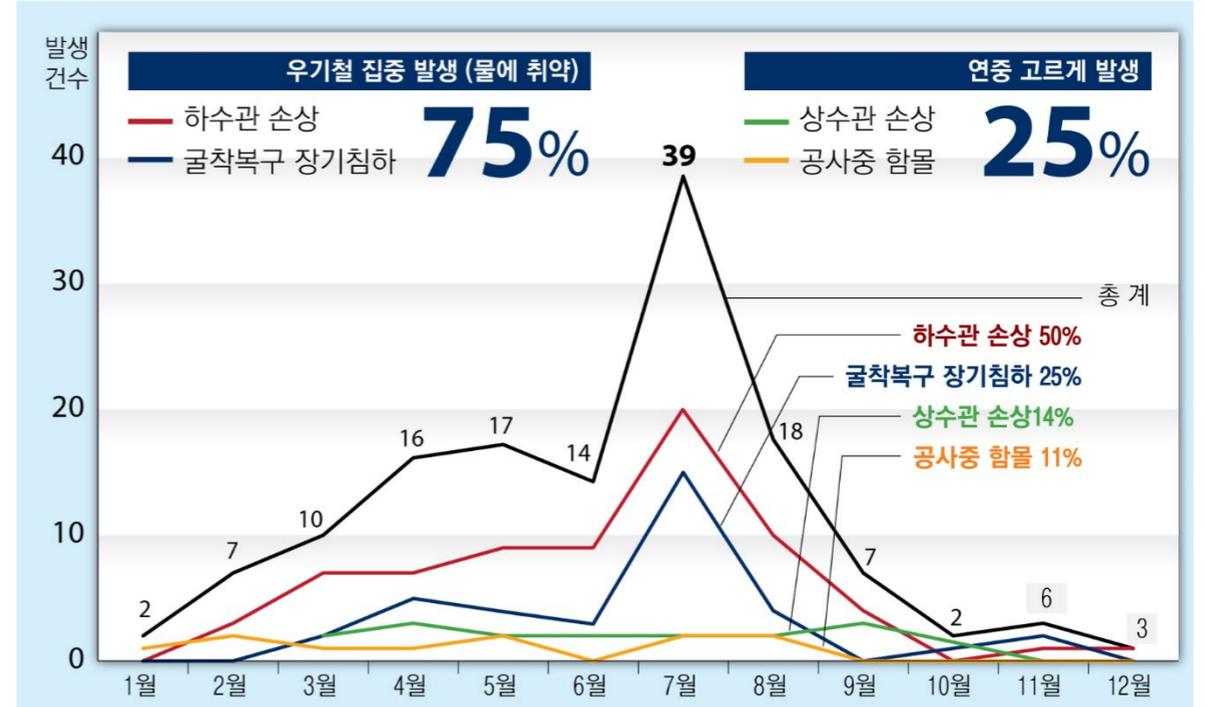


- 한국:일본의 면적비가 1:3.76인데 반해, 지반침하(도로함몰) 건수의 비율은 190:10000으로 **일본이 약 50배나 많이 발생**하는 것은 쉽게 납득하기 어려움. 무슨 이유가 있는 걸까요?

# 2014년 서울시 발생건수



- 경미한 도로침하·공동까지 포함
- **연간 약 681건 발생**
- **매년 29% 증가**



- 2014.8월~2016.11월까지 **148건 발생**

(출처: 서울시 도로함몰 대책(2014. 8월) 및 서울시 도로함몰 관리 종합대책(2016.11월))

# 국내 (JIS) 통계

## ■ 지반침하사고발생신고

사고지역	:: 광역시 · 도 :: :: 시 · 군 · 구 ::	사고 상세주소	<input type="text"/>
사고일자	2024-05-28 ~ 2025-05-28	발생원인구분	전체

지반침하사고 수정은 **상시** 수정이 가능하며, 수정방법은 공지사항 게시판

2025-01-10 작성된 "**지반침하사고 입력 정보수정 방법 안내(클릭)**"를 참조하세요

정보수정 요청 시 "**지반침하사고 발생신고 변경확인서**"를 필히 첨부하여야 합니다.

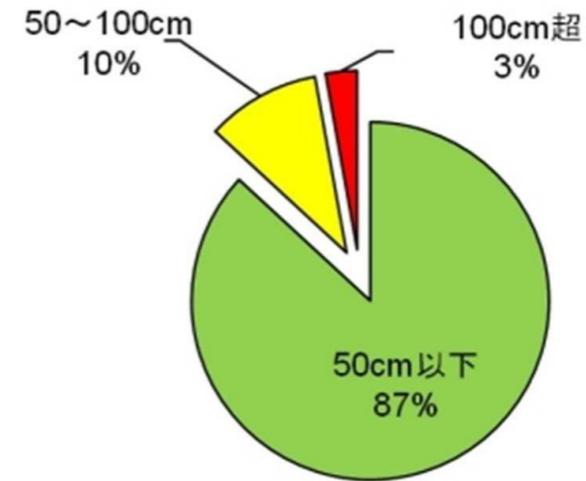
No	사고발생위치	사고발생일자	발생원인구분
1	경상남도 진주시 상평동 252-1	2025-05-20	확인중
2	서울특별시 서초구 서초동 사평대로 376-2	2025-05-17	확인중
3	서울특별시 동대문구 회기동 60-104	2025-05-16	확인중
4	경상남도 김해시 삼방동 194-2	2025-05-13	확인중
5	부산광역시 강서구 범방동 1913번지	2025-05-13	확인중

1. 2025-05-23 안양시 동안구 직경 70cm
2. 2025-05-22 서울 강동구 고덕역 직경 15cm, 깊이 20cm
3. 2025-05-21 광주시 남구 송하동 직경 15cm, 깊이 1m 등

## 대부분의 지반침하 등 땅꺼짐 사고 국내 통계에 미반영

(지하안전법 상 지자체·국토부장관 통보대상 규모)

1. 면적 1m<sup>2</sup>이상 또는 깊이 1m 이상의 지반침하
2. 지반침하로 인해 사망자·실종자, 부상자 발생



하수도로 인한  
도로함몰  
연간 약 3,000개!  
(일본)

약 9할은 50cm 미만의 얇은 함몰로  
규모가 작음

(출처: JIS 지하안전정보시스템, <https://www.jis.go.kr/>  
일본 제4회 노면하공동대책연락회(2023년) 자료)

## 실제 발생건수 추정

국내 하수관 손상으로 인한 발생비율 47%  
일본 하수관 손상 통계 상 깊이 1m이상 발생 비율 3%

$$\therefore 191 \times \left(\frac{47}{100}\right) \times \left(\frac{100}{3}\right) = 2992 > \frac{3000}{3.76} = 797$$

국토 단위면적 당 실제 발생량은 일본보다  
자그마치 **세 배 이상** 많을 수 있음



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

땅은 왜 꺼질까요?

### 03. 땅꺼짐(공동)의 발생 메커니즘

**그 땅꺼짐이 발생하는  
메커니즘을 살펴 봅니다**

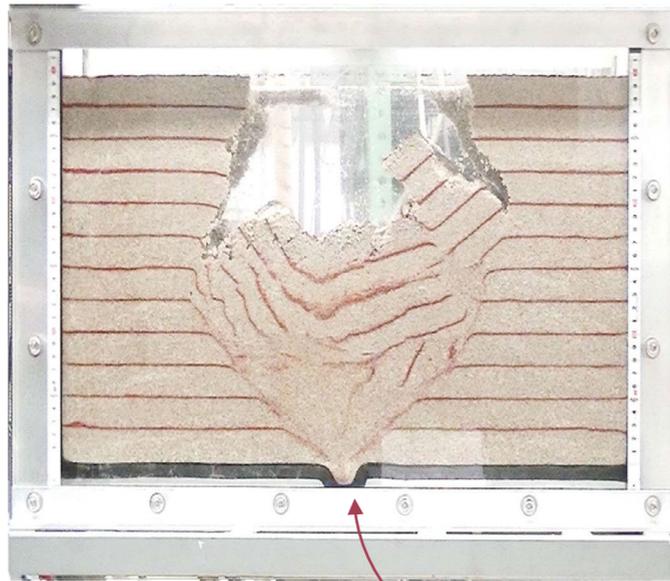
# 땅꺼짐 핵심 유발 요인

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

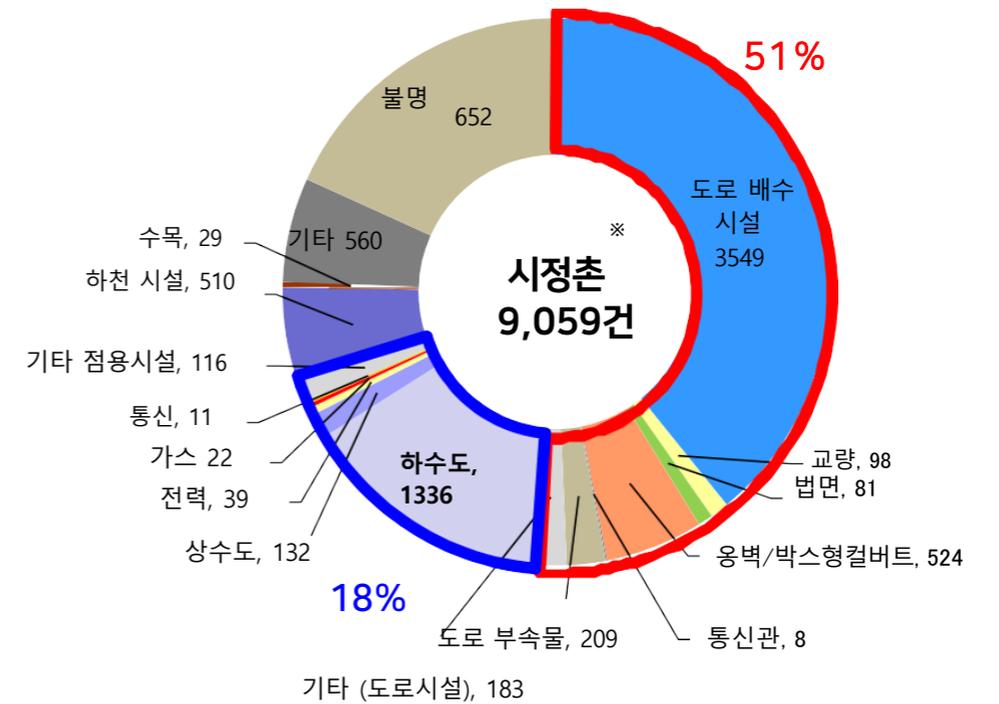
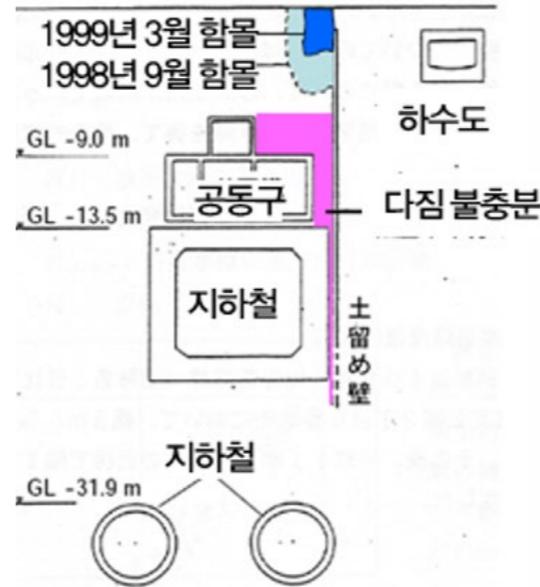
1. 토사(모래)와 물(지하수 등)이 유출되는 출구(outlet) 생성 - 대부분
2. 공사 후 되메우기 토사 다짐 불량 부분의 장기간 침하 - 일부

\* 포트홀 제외

- 도로시설물로 인한 함몰
- 도로점용물로 인한 함몰



구멍



- 토사와 물(지하수)은 어디든 존재
- 인공시설물에 노후화, 손상, 공사부실 등 다양한 원인으로 토사와 물이 유출되는 출구가 발생하면 함몰 유발

# 공동의 생성·확대 프로세스

---

(출처: 일본 요미우리 TV 뉴스)

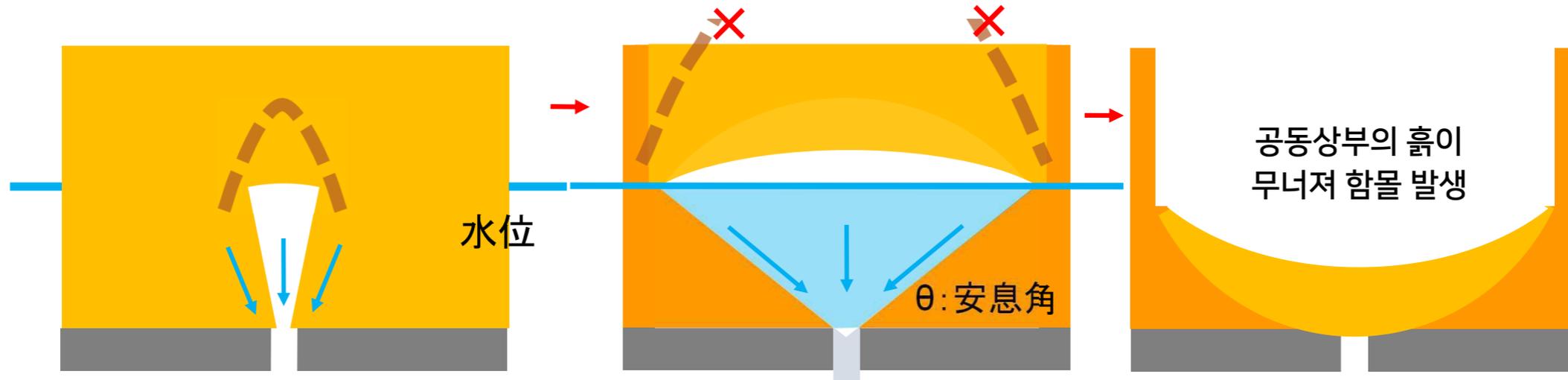


# 공동의 생성·확대 프로세스

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

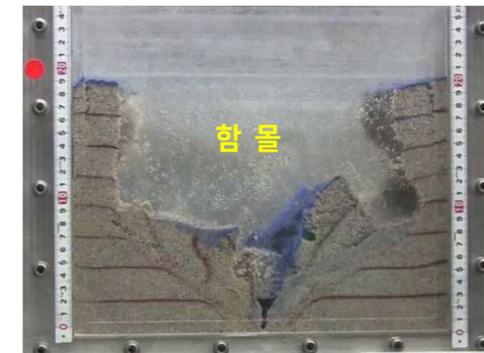
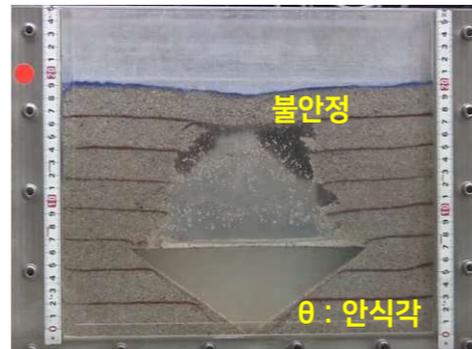
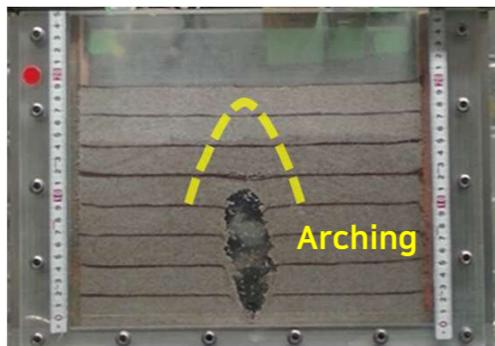
공동이 깊고 폭이 좁은 경우는  
공동 상부에 아치효과가 작용

공동이 넓고 얇으면 상부에  
아치효과가 작용할 여지가 없음



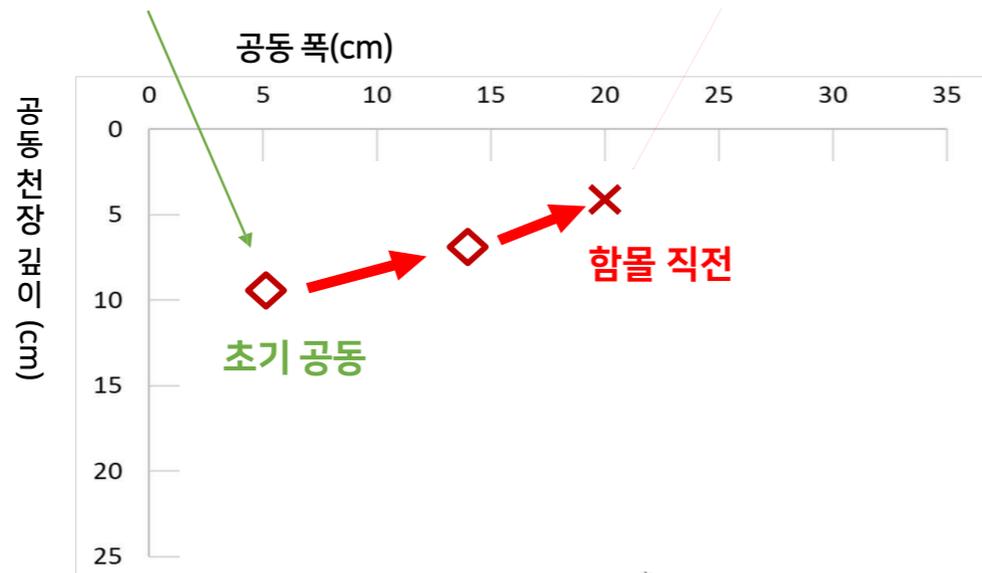
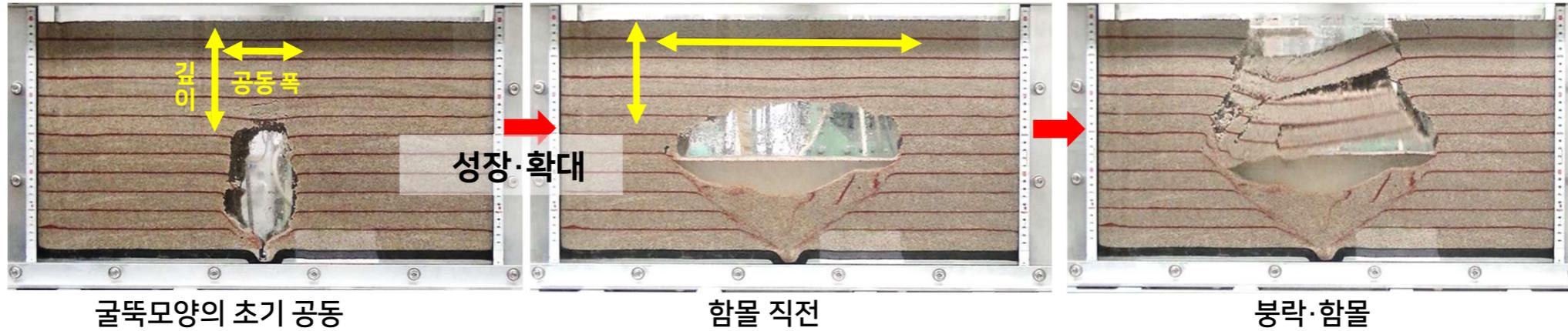
물이 빠르게 유출되면 공동이 넓게  
생기지 않고 굴뚝형태로 생성

공동 내에 물이 있으면 토사유출공  
상부에 부채꼴로 공동이 확대



**유출공(간극)이 작아도, 지속적인 토사 유출에 의해 공동이 확대 가능**  
**공동이 지표의 변상으로 나타나는 것은 중국적상황으로 수위의 변동, 또는 높은 지하수위가 공동확대의 주요인**

# 공동의 생성·확대 프로세스



긴 굴뚝 모양의 초기 공동

↓

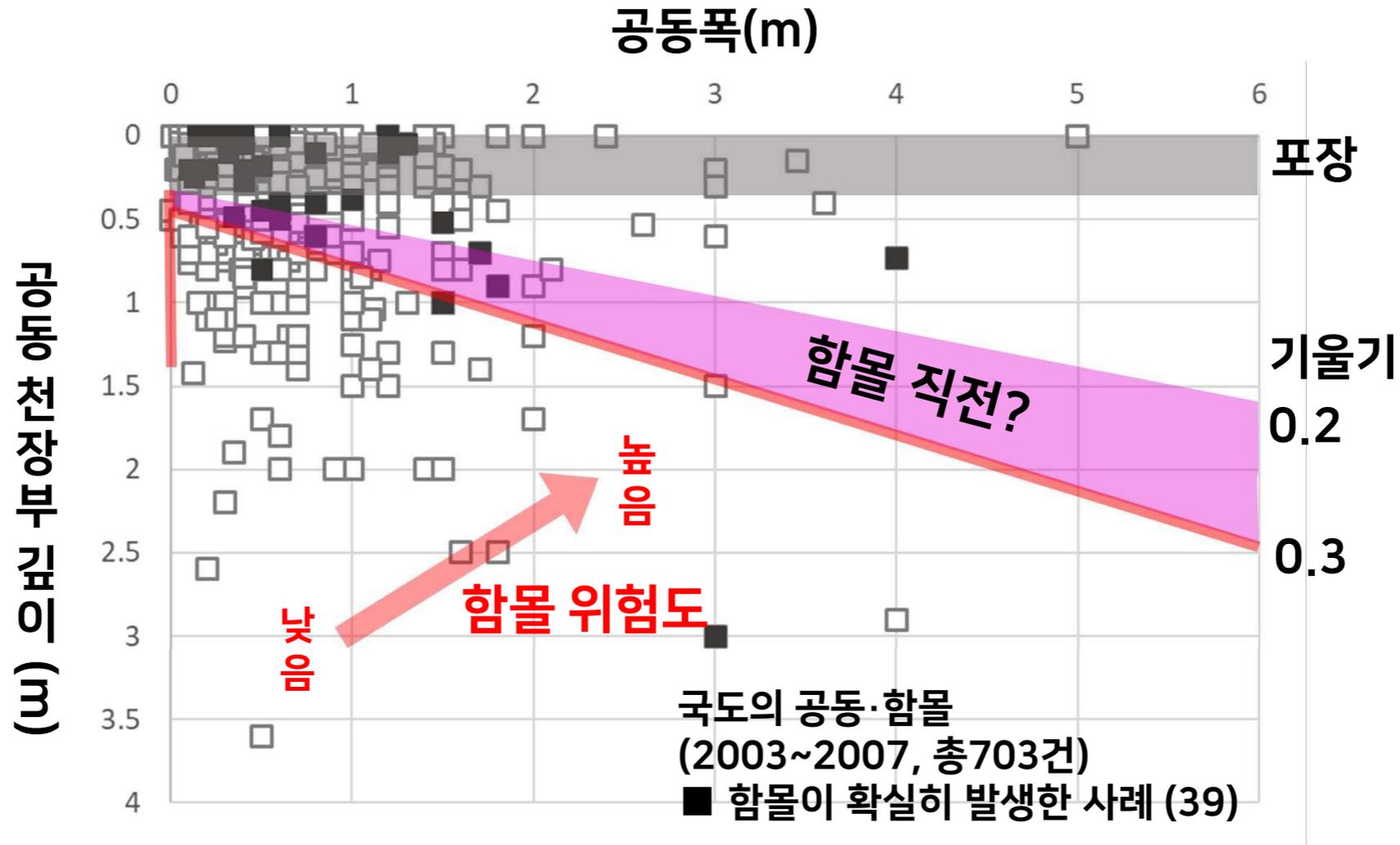
지하수위 하부의 공동 폭 확대

↓

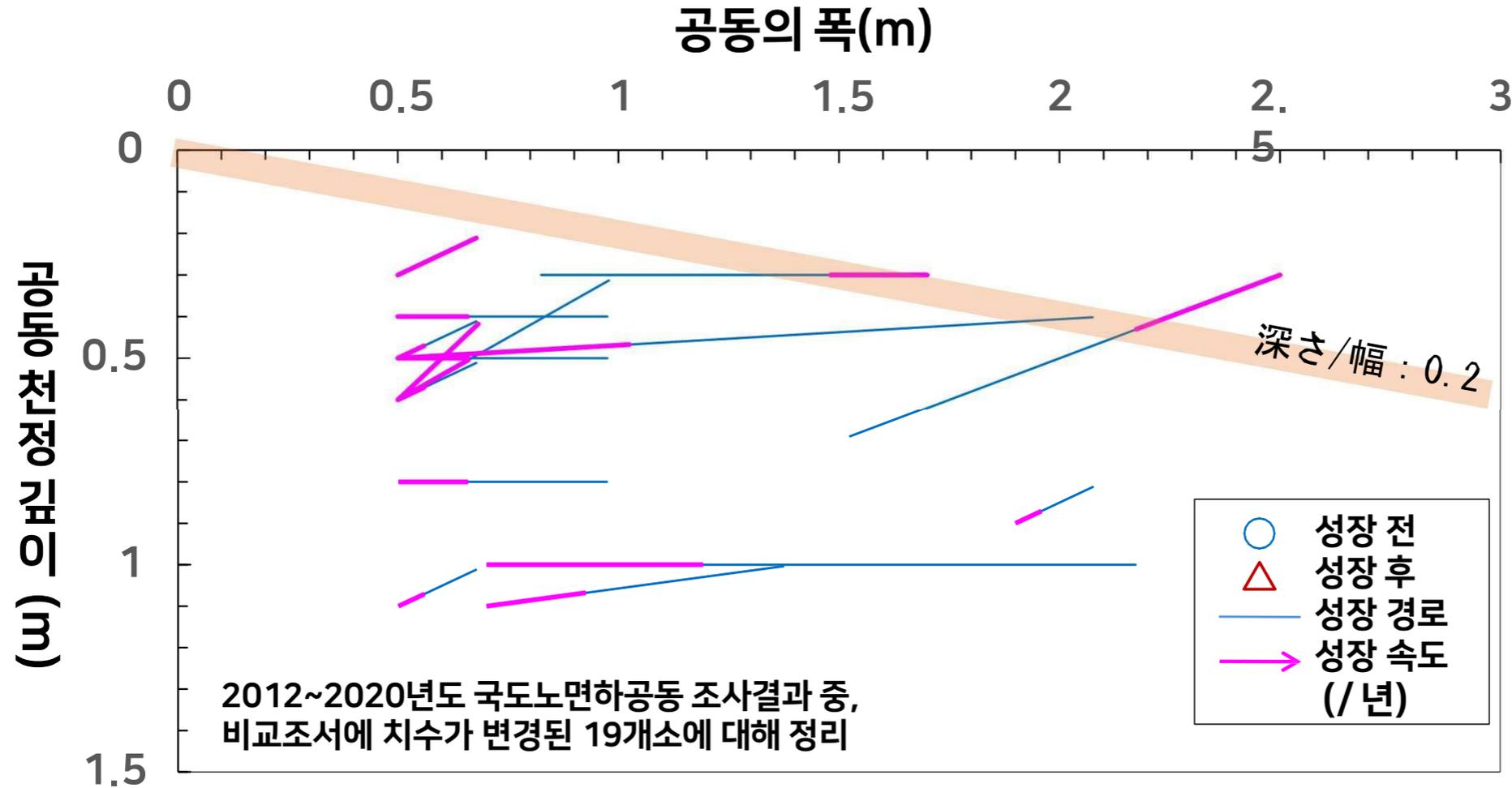
공동 상부의 흙이 무너져 함몰

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

## 국도(國道)의 공동·합몰 사례



## 함몰위험도 chart

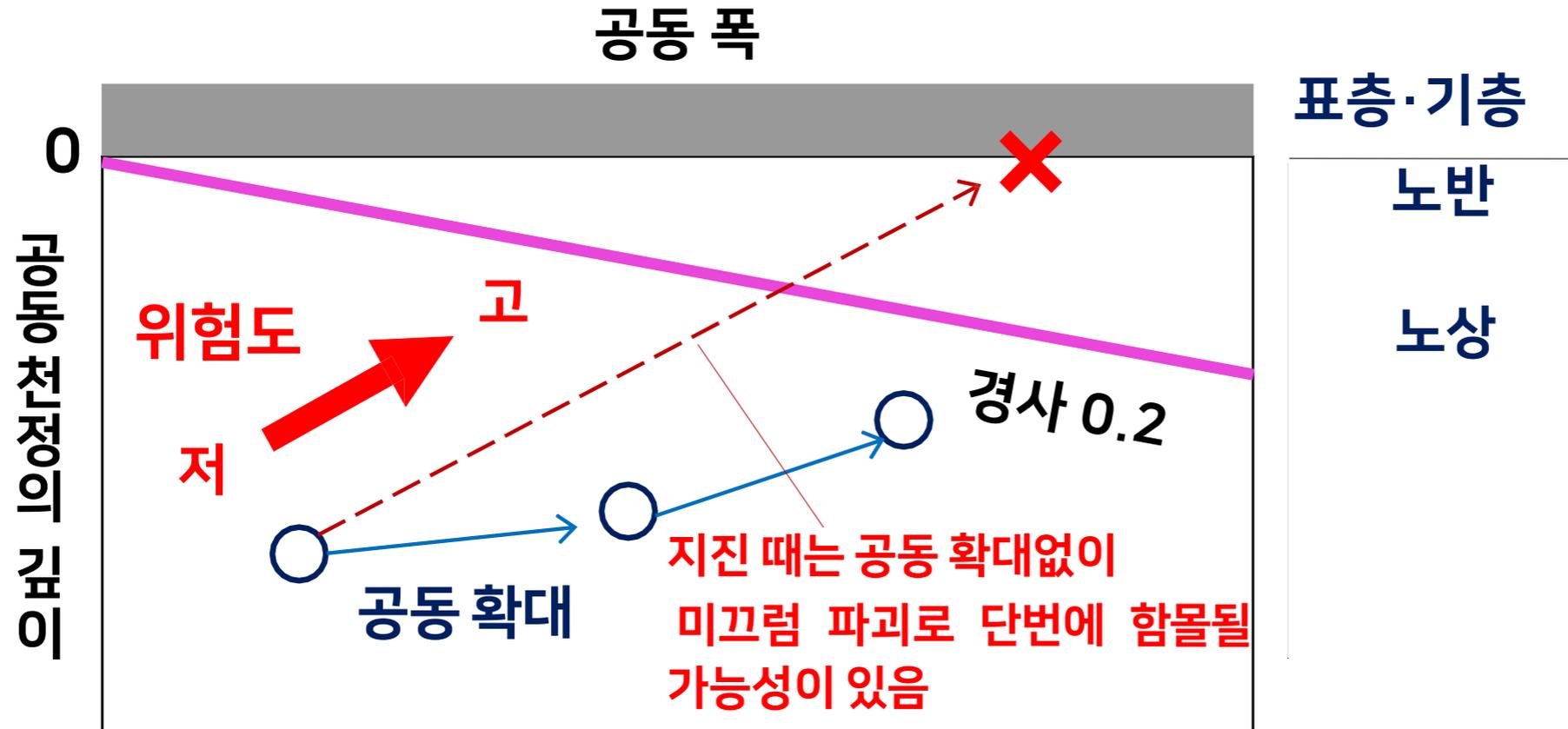


■ 공동(깊이변화 有): 평균 0.108m<sup>3</sup>/년 ■ 공동(깊이변화 無): 평균 0.52m<sup>3</sup>/년

# 포장구조를 고려한 함몰위험도 평가

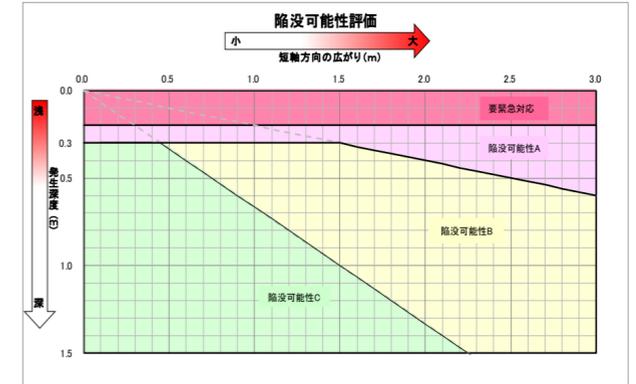
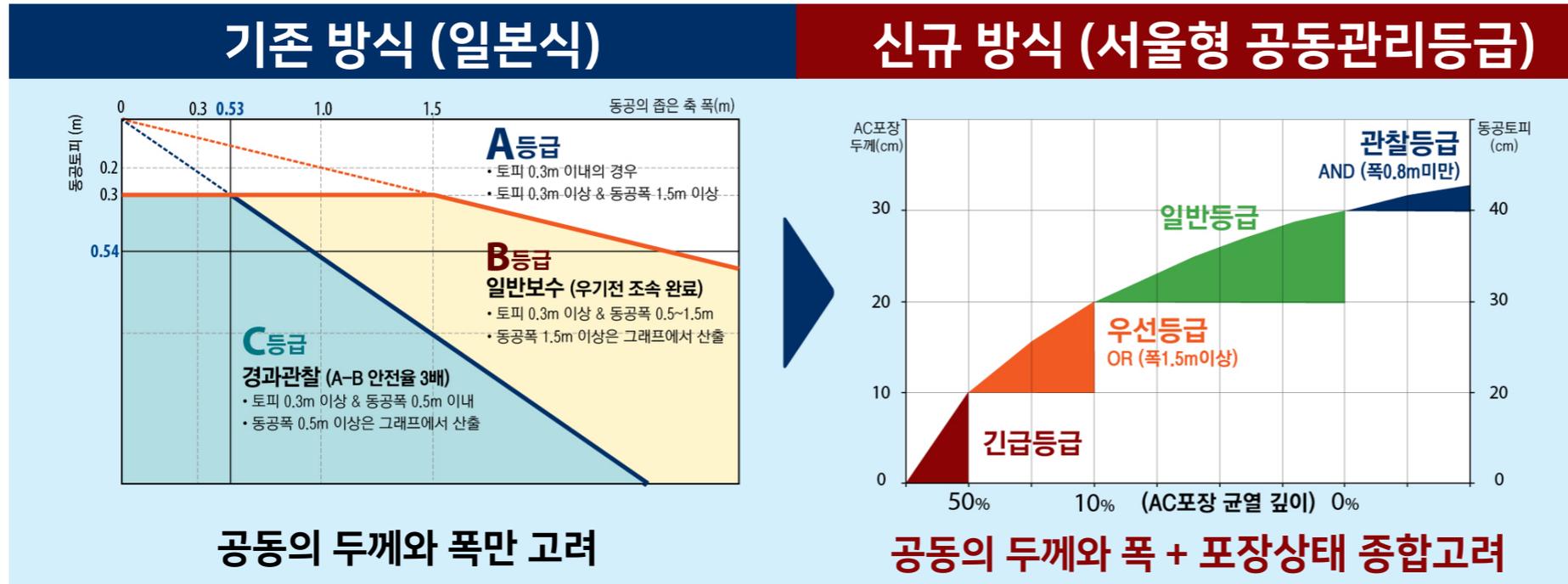
(출처: 쿠와노레이코<sup>桑野玲子</sup> 교수 발표자료)

- 포장 구조와 관계없이 노면하 공동에 의해 노반이 침식되면 노면함몰은 **시간의 문제일 뿐**
- 함몰위험도는 **공동이 노반 아래 얼마나 깊이 있는가로 평가**



# 서울시 공동관리등급 분류 및 복구 기준

(출처: 서울시 도로함몰 관리 종합대책 2016)



- 긴급복구** 함몰 가능조건이 충족된 공동  
 ▶ 탐사중 공동확인 즉시 복구 필요 (4시간내 복구)
- 우선복구** 함몰 가능조건을 만나는 경우(돌발강우 등) 함몰되는 공동  
 ▶ 신속한 조치계획 수립과 복구 필요
- 일반복구** 일정기간 공동 추가 확대로 함몰 가능조건 충족시 함몰되는 공동  
 ▶ 우기철 이전까지 복구 필요
- 관찰대상** 공동 상부 지반 두께(토피)가 튼튼하여 함몰될 위험이 없는 공동  
 ▶ 일정기간 관찰후 반복탐사 시작년도의 우기 이전까지 복구 필요

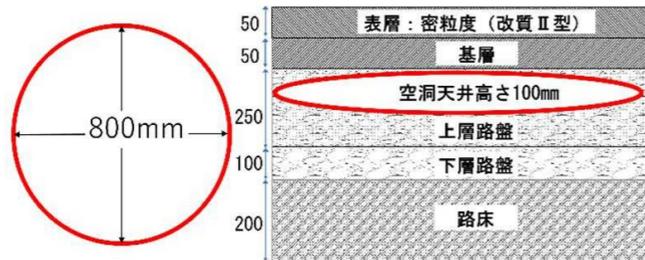
# 얇은 공동이 더 위험

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

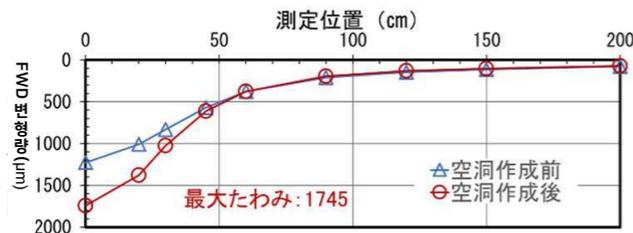
- Full-Scale Test에서의 공동재하시험 결과
- FWD 변형량 및 평판재하시험 침하량은 **공동이 깊을수록 변상이 적음**

Falling Weight Deflectometer  
(낙하 중량식 충격 하중 시험기)

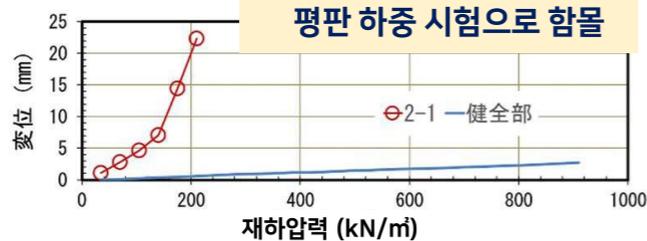
깊이 10cm(포장면 직하)



모의공동의 형상·깊이와 포장구성단면

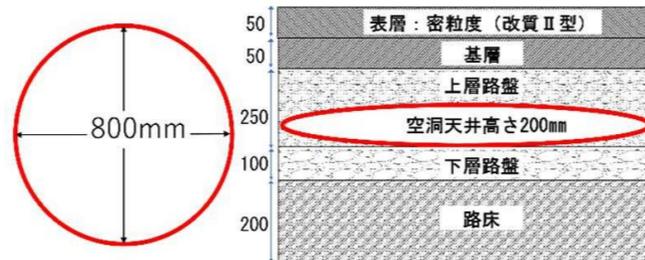


FWD 변형량

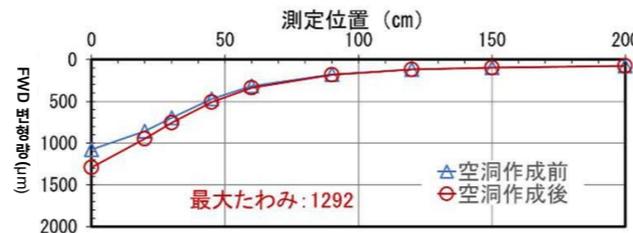


평판재하시험의 하중-변위 관계

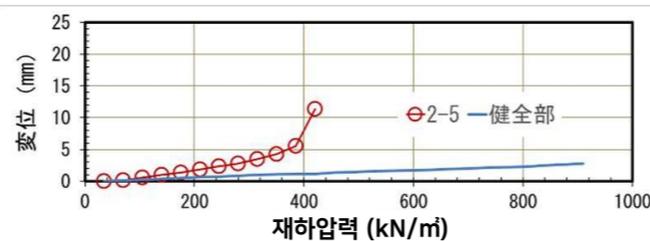
깊이 20cm(노반내)



모의공동의 형상·깊이와 포장구성단면

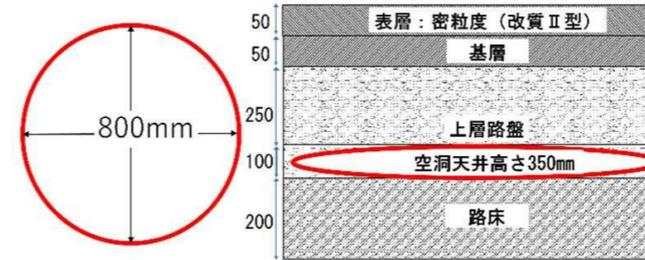


FWD 변형량

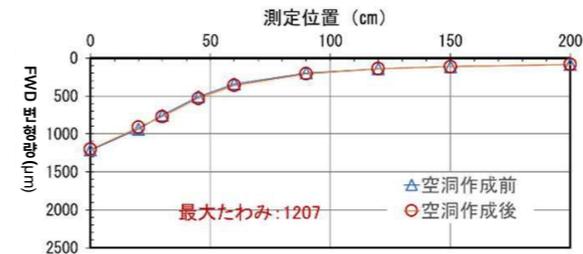


평판재하시험의 하중-변위 관계

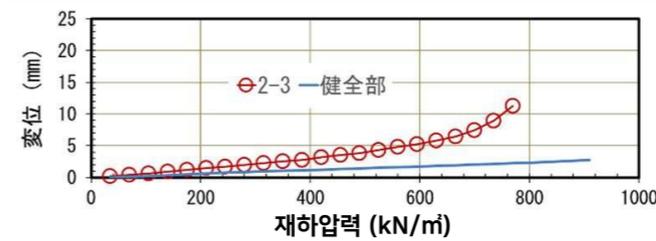
깊이 35cm(노반아래)



모의공동의 형상·깊이와 포장구성단면



FWD 변형량



평판재하시험의 하중-변위 관계

## 지면 함몰 과정



다양한 원인으로 공동 생성

강우·지하수 상승으로 공동 진전

지표면 근처까지 공동·이완이 도달하면서 함몰

### 자연생성:

- 증유동 등 자연생성 공동,수로,파이프

### 인공공동:

- 채석장 터
- 방공호 또는 군용 터널
- 성토 구역내 배수관, 상하수관 등 지하매설관
- 터널공사로 인한 급속한 토사 유출

- 건축 지하굴착공사장

## 소인(素因):

- 복잡한 지하매설물
- 유출되기 쉬운 토양(뒷채움재)
- 지질, 지형, 지하수
- 굴착공사 이력 등

## 유인(誘因):

- 지중매설 인프라의 노후화·파손
- 비
- 지진 등

공동이 형성되기 쉬운 여건·  
조건이 구비된 상황에서,

토사의 유출경로가 확보되면,



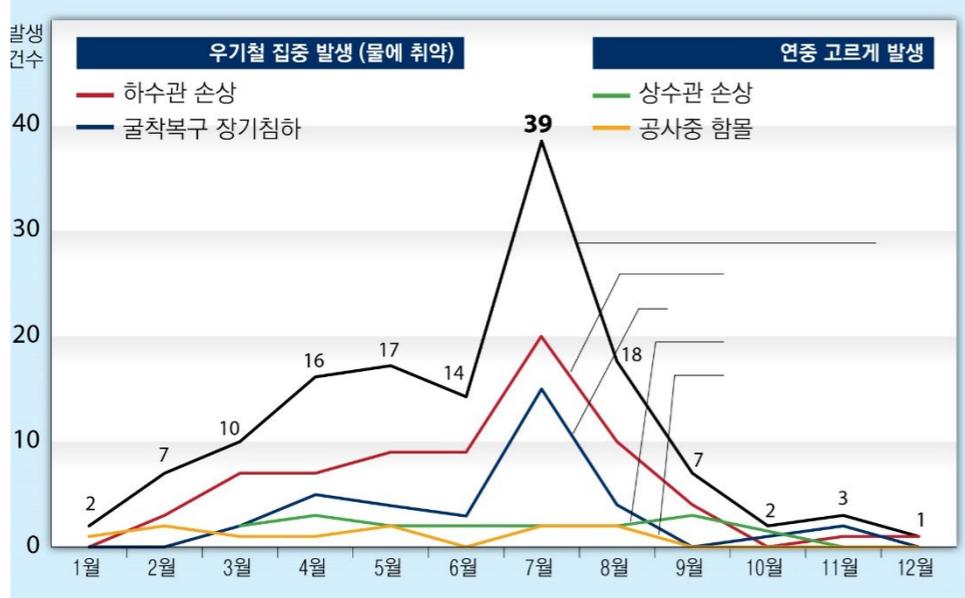
소인: 잠재적·내재적 요인  
유인: 촉발요인 유발 요인, **비·지진 등은 가중요인**

## 공동의 생성·확대 가속화

# 공동·함몰의 확대 요인: 비

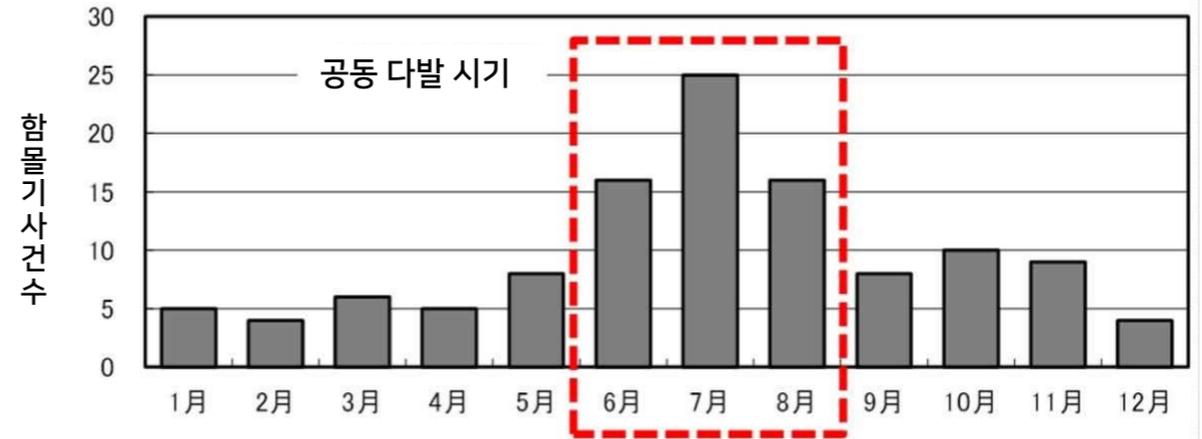
(출처: 2016년 서울시 도로함몰 관리 종합대책 및  
쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

## 서울



한국이나 일본 모두  
장마, 태풍 등으로 강우가 집중되는  
여름철(6~8월)에 함몰사고 급증

## 일본

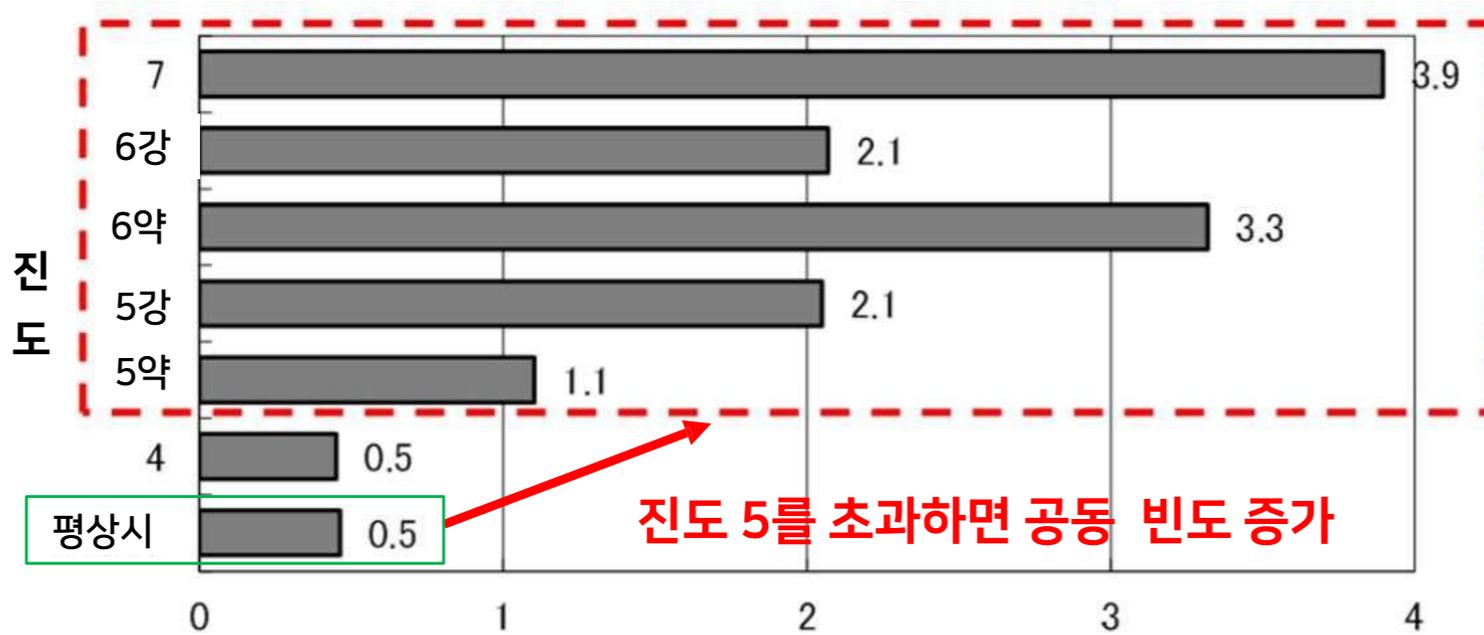


신문보도(1988~2006년, 일본 전국) 노면함몰사고 월별 발생건수

# 공동·함몰의 확대 요인: 지진

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

니가타현 나카에토 지진 전후의 이상신호위치의 빈도, 강도 및 공동규모



(2018.06.18 오사카부)

1km 당 이상 신호 개소수

조사 종별	1km당 이상신호 개소수	공동 규모				
		깊이 m	두께 m	세로 m	가로 m	면적 m <sup>2</sup>
지진전	0.46	0.38	0.20	1.40	1.20	1.68
지진후	1.72	0.36	0.11	1.40	3.20	4.48

코이케<sup>小池</sup> 등, 노면하 공동의 발생에 관한  
고찰(Part 1), 제47회 지반공학연구  
발표회, 하치노헤시<sup>八戸</sup>, 2012년 7월

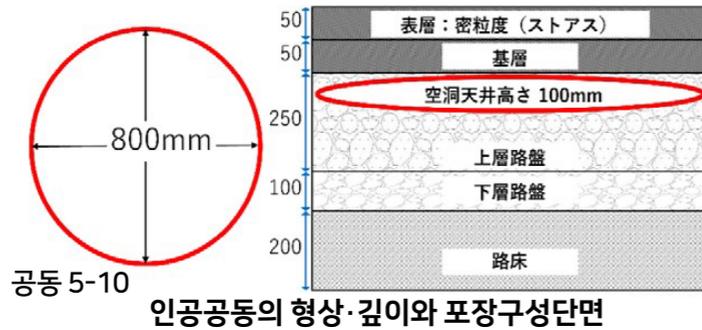
## Full-scale Test 결과

최대 처짐량=2000 $\mu$ m 초과부터 함몰까지의 남은 수명(시간)

여름에는 **일** 단위, 기타는 **월** 단위

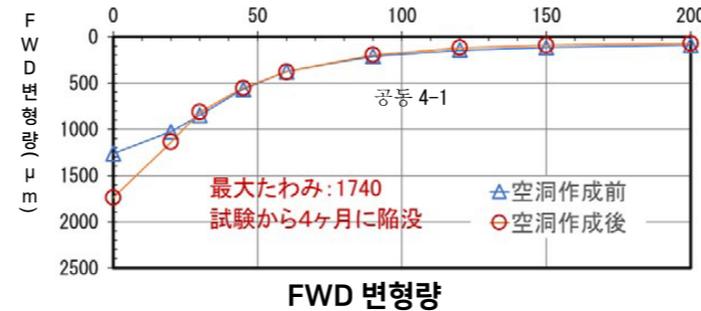
깊이 10cm 공동

FWD 3일 후 붕괴

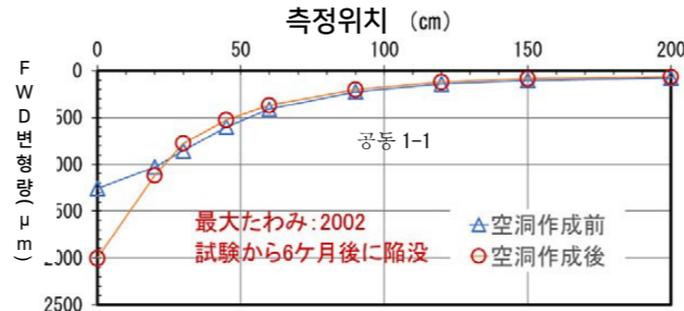


동일한 규격의 공동

공동 4-1 (ST.Asphalt) FWD 시험 4개월 후 붕괴



공동 1-1 (개질 II형) FWD 시험 6개월 후 붕괴



FWD(Falling Weight Deflectometer)

추를 일정 높이에서 낙하시켜 포장면에 충격을 가하여 표면의 처짐을 측정하여 포장의 물성을 파악하는 비파괴시험





발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 04. 매설물·시설물에 의한 함몰

### 우리의 발 밑엔

수많은 지하매설물, 지하시설물이  
거미줄처럼 빼곡하게 깔려 있습니다

**땅속 매설물·시설물의 결함이  
땅꺼짐의 주요 원인**

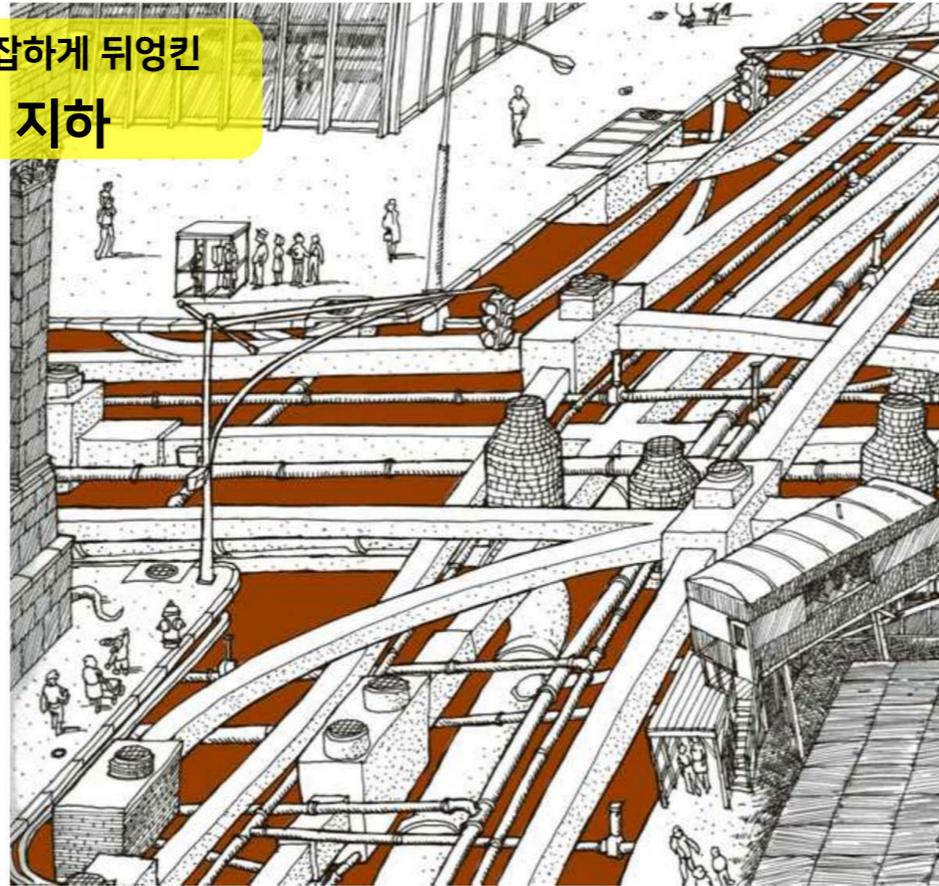
# 지반 내 인공생성 공동에 의한 함몰

(출처: 쿠와노레이코<sup>桑野玲子</sup> 교수 발표자료)

도시 지역은,

지하 이용의 고도화·혼잡화에 따라 지하매설물로 인한 공동·함몰이 주원인

지하 구조가 복잡하게 뒤엉킨  
도시의 지하

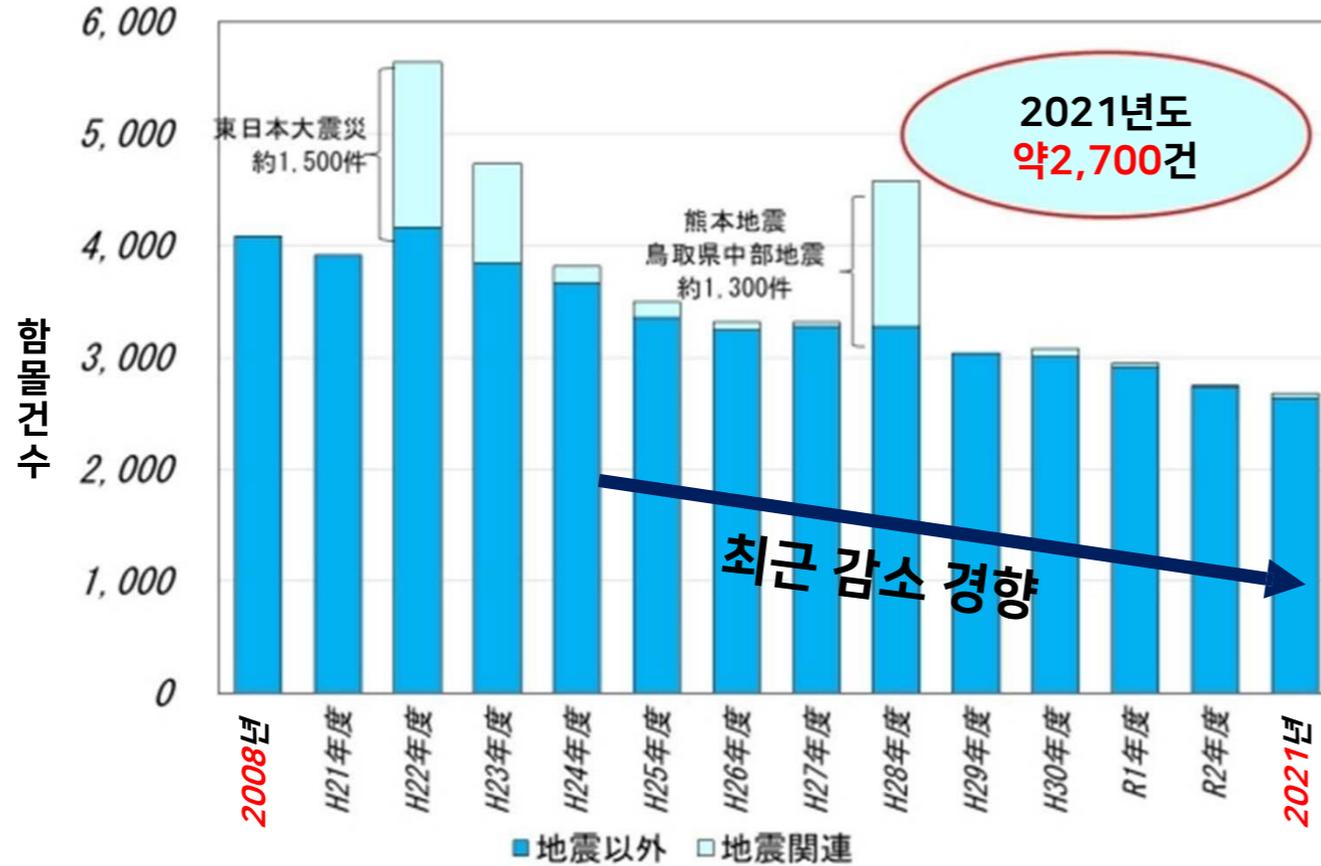


Underground, by David Macaulay (1976)

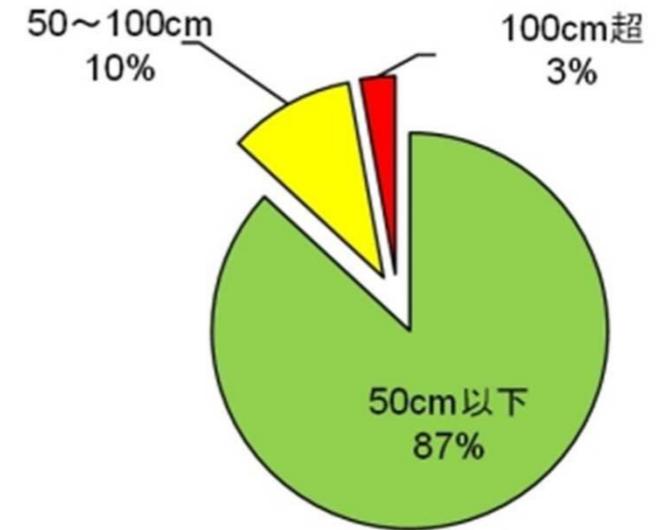
# 하수관에 기인한 도로함몰 - 일본

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)

## 하수관으로 인한 도로함몰 개수 변화



## 도로함몰 깊이



약 9할은 깊이 50cm 미만의 얇은 함몰로 규모가 작은 것이 대부분

**연간 약 3,000건!**

[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage tk\\_000135.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage tk_000135.html)

# 하수도로 인한 함몰, 무시하면 안 돼!

일부 전문가가 언론인터뷰 등에서 하수관에 의한 도로함몰은 인명피해가 날 정도가 아니라지만, 사실은...



2016.7.17 경기도 고양시 장항동 상가 우수관 손상에 의한 도로함몰로 60대 여성 추락



2025.1.18 일본 사이타마현 야시오시 하수관 손상으로 추정되는 도로함몰로 트럭 추락, 운전자 사망

**함몰 규모가 작아도 위험**

**하수관 매설 깊이에 따라 대규모 함몰 위험**

◆ 최근 5년('20~'24)간 지반침하 사고별 원인 비교(지하안전정보시스템, JIS)

		총계		중·소형 사고		대형 사고	
원인	기존 매설물 손상*	497	57%	478	59%	19	33.3%
	굴착 관련 공사 부실**	278	32%	257	31.7%	21	36.8%
	기타	92	11%	75	9.3%	17	29.8%
합계		867건	100%	810건	100%	57건	100%

\* 상수관 손상, 하수관 손상, 기타매설물 손상

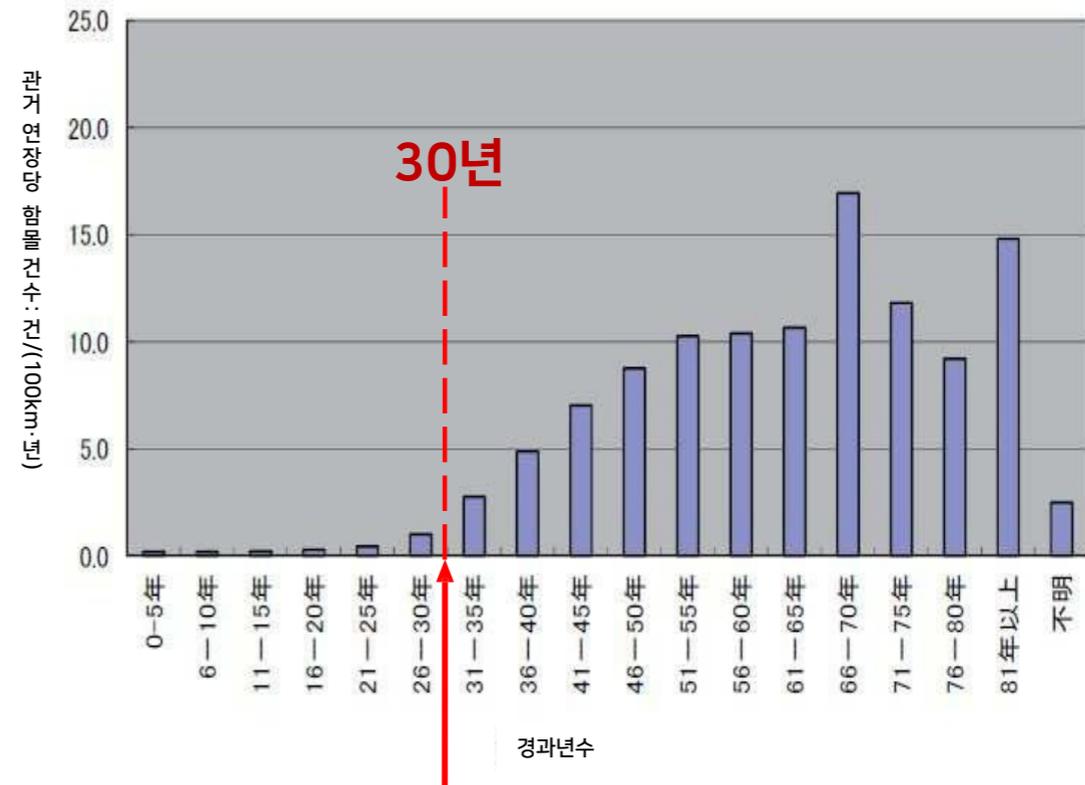
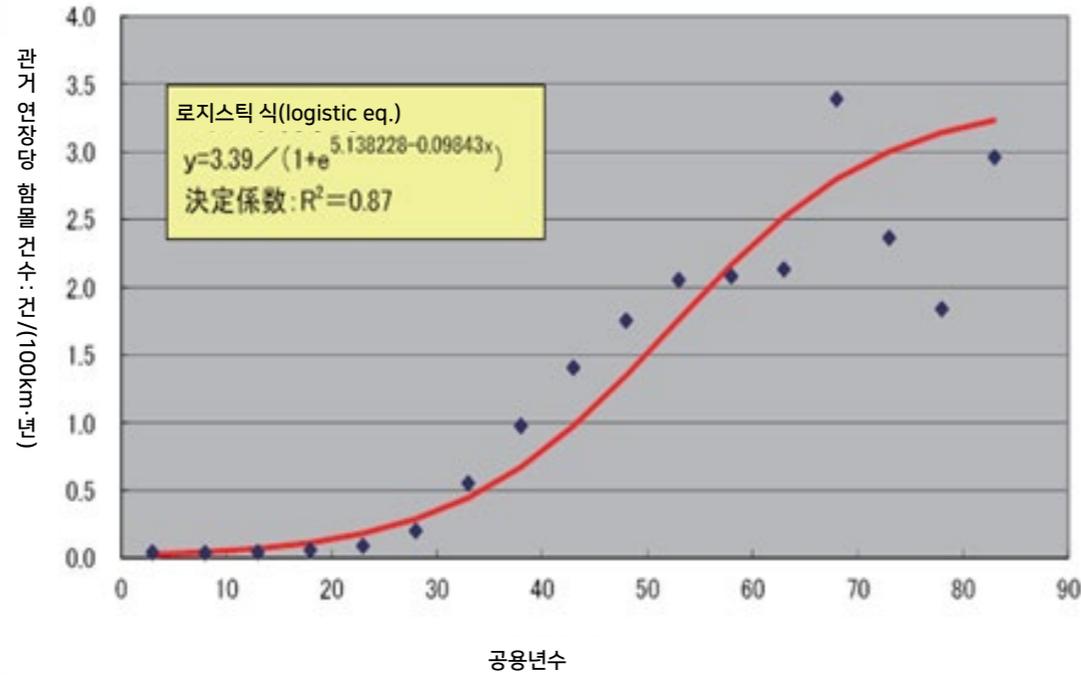
\*\* 굴착공사 부실, 다짐 불량, 상하수관 등 매설공사 부실

국토부, 굴착공사장 안전관리 강화방안  
(2025.05.28일)

# 하수관 손상에 의한 도로함몰 - 일본

((출처: 서울시 도로함몰 대책(2014. 8월) 및 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료))

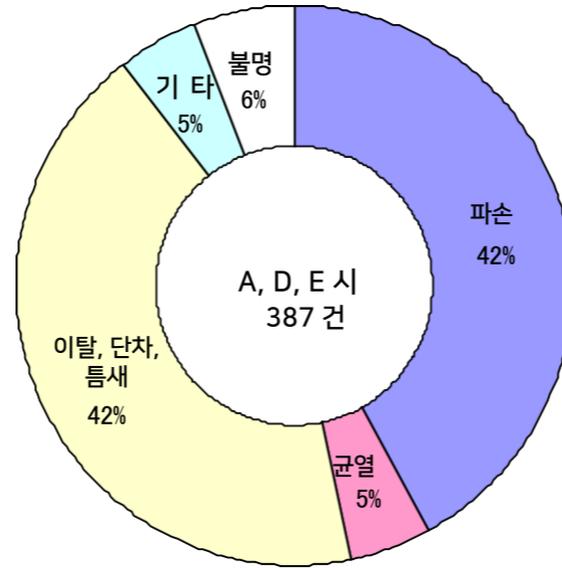
## 하수관 경과년수와 도로함몰 발생 빈도



하수관 부설 후 **30년 경과** 시 도로함몰 발생이 증가



PVC 관 이음부 균열

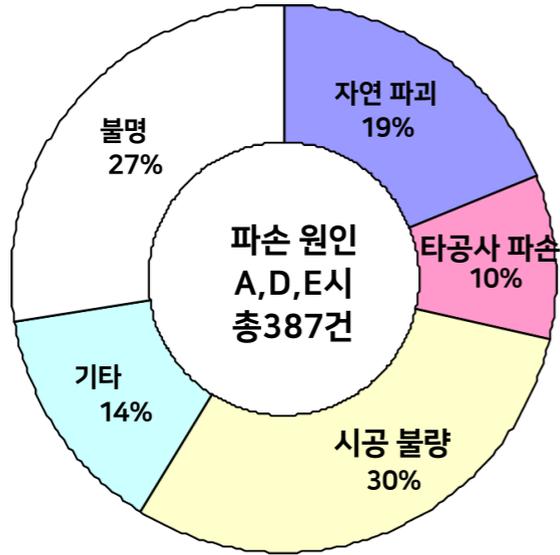


2001-2002년에 발생한  
함몰에 관한 토목연구소 조사



부식에 의한 파손

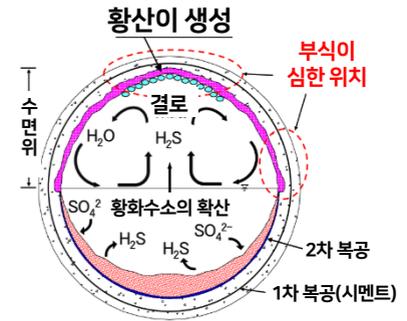
- 손상의 원인을 명확하게 특정하기 어려운 경우도 많음
- 균열이나 이탈, 틈새 등의 **경미한 손상으로도 도로함몰이 발생**하는 경우가 있음



자연적 열화와 시공불량(매설토 다짐 부족 등)으로 인한 파손의 구분이 불명확

하수 중의 황화수소가 노후화에 의한 열화 촉진

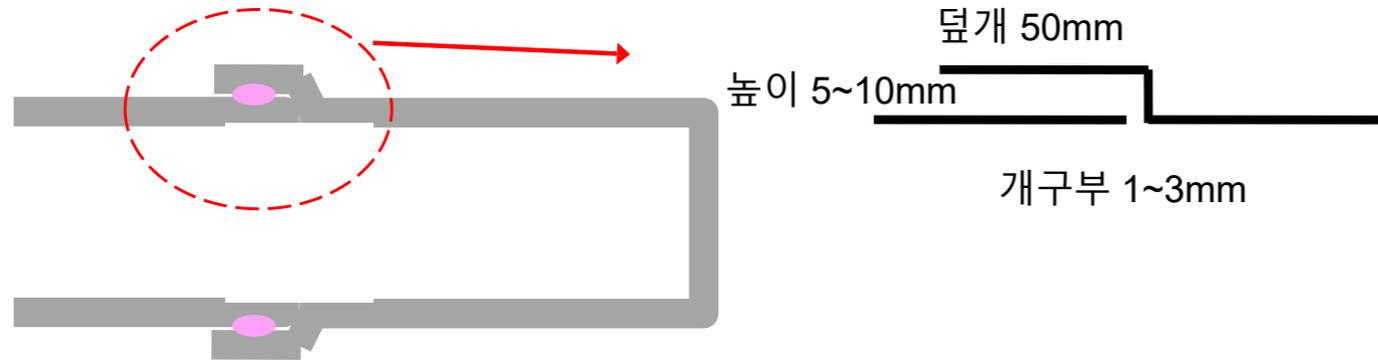
타공사로 인한 파손도 무시하면 안 될 수준



가스관이나 수도관 등으로 손상된 하수관

# 관 접합부로의 토사 유출

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료)



하수관 내 명확한 파손이 확인되지 않는 경우에도 공동형성 가능

예를 들어, 관거 **이음부의 지수 패킹의 손상**에 의한 누수가 토사 유출의 원인 개소가 될 수 있는지 이음부 모양의 개구부를 설치하여 토사 유출 모형 실험을 실시

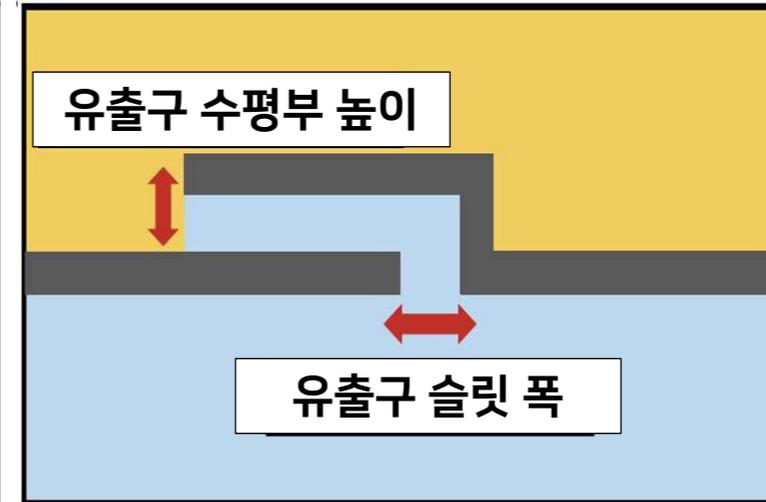
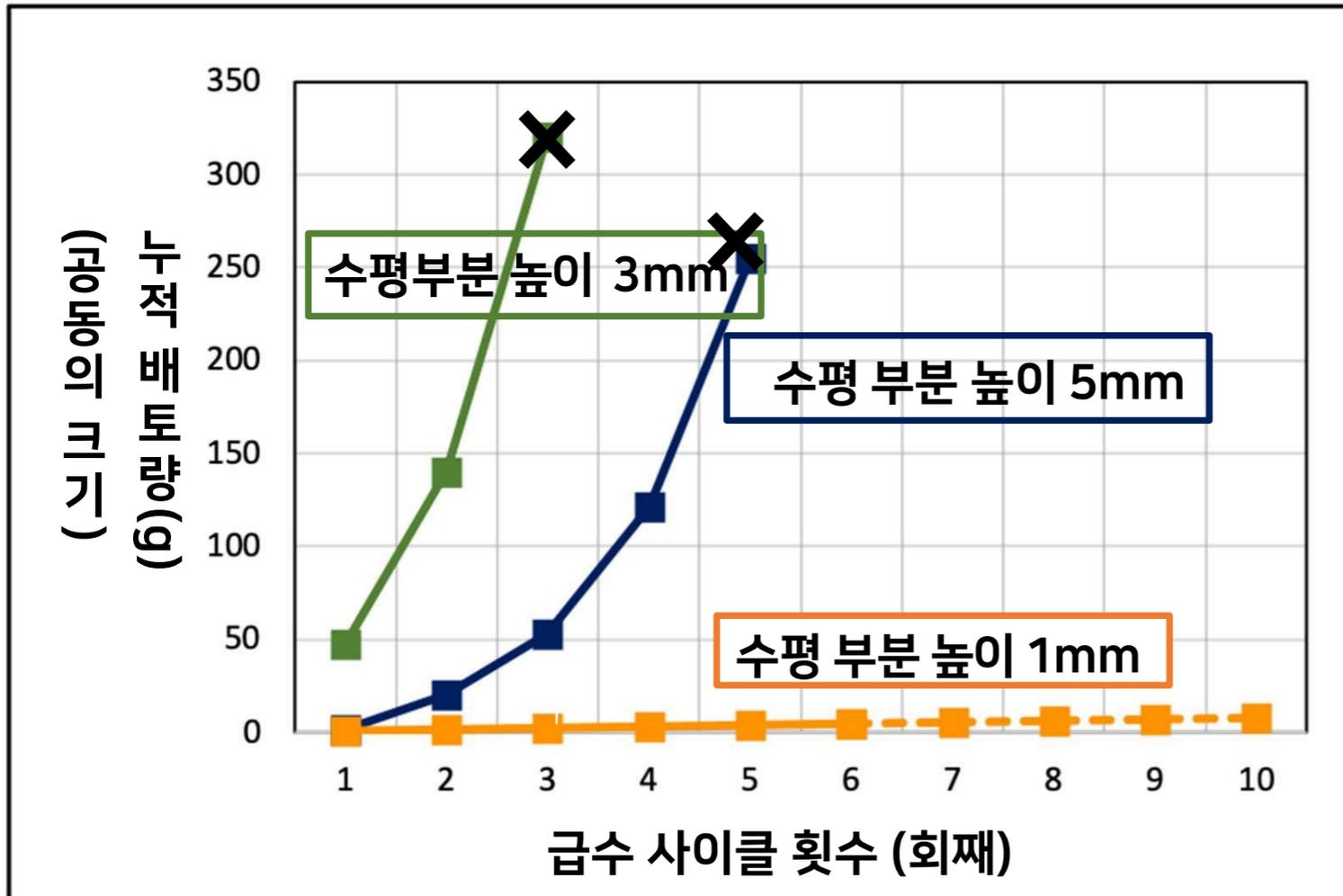


이음부의 덮개부분이 물에 잠겨 있고, 모래입자의 수평 이동에 충분한 유속이면 유출 발생



# 유출구 수평부분 높이를 변화시킨 경우

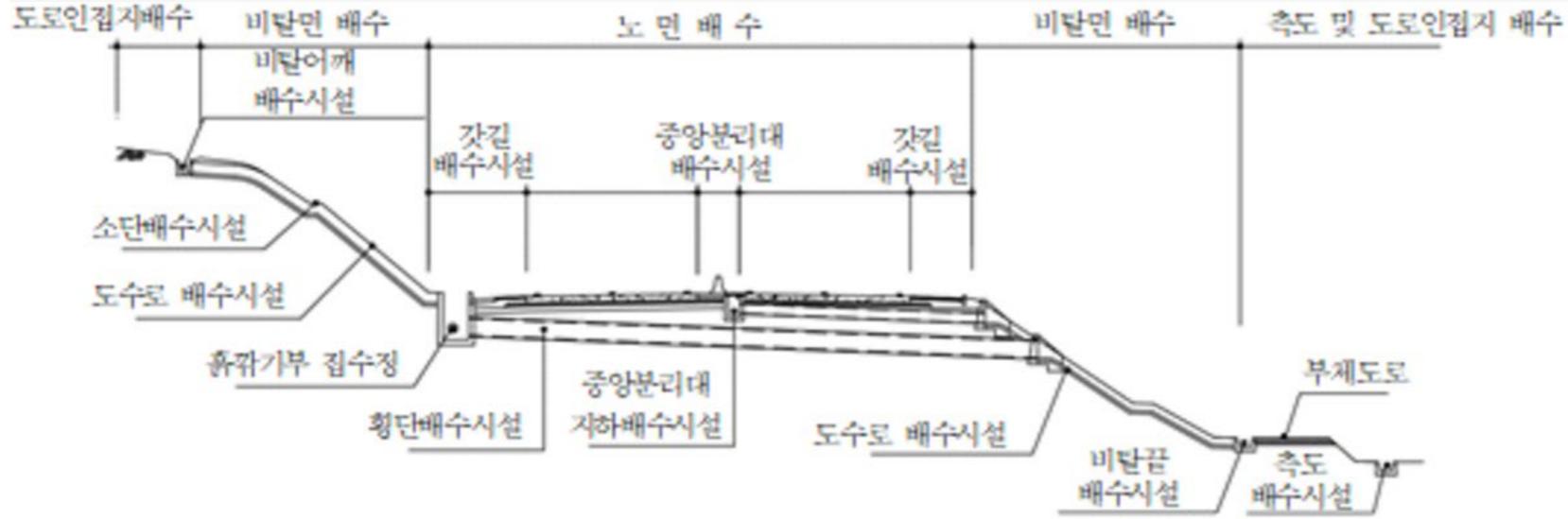
(출처: 쿠와노레이코<sup>桑野玲子</sup> 교수 발표자료)



**3mm** 정도의 경미한  
지수불량 개소에서도  
공동 생성·성장 발생

**X** : 함몰발생

# 도로배수시설에 기인한 도로함몰



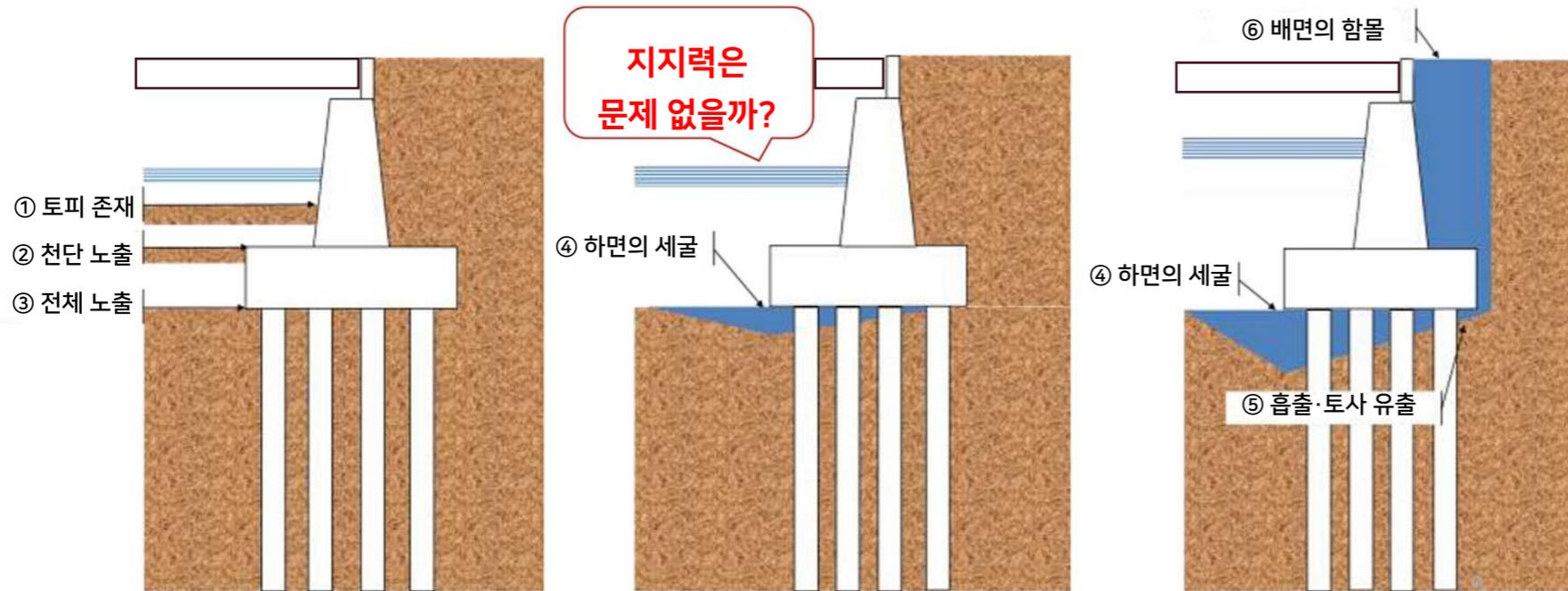
도로배수시설(KDS 44 40 00 도로설계기준)

- 하수도 등 지하매설물이 없는 (도시)고속도로, 국도 등에서도 도로의 횡단배수시설의 손상·결함 등에 의해 도로함몰 발생
- 횡단배수시설이 **깊이 매설된 경우는 대규모 함몰도 발생**



2025.2.17일 일본 시스오카현 횡단배수관 손상에 의한 함몰

## 하상세굴(scour)에 의한 도로함몰 사례



하상저하에 따른  
토피 유출로  
기초 노출



세굴에 의해  
기초 하면의  
공동화



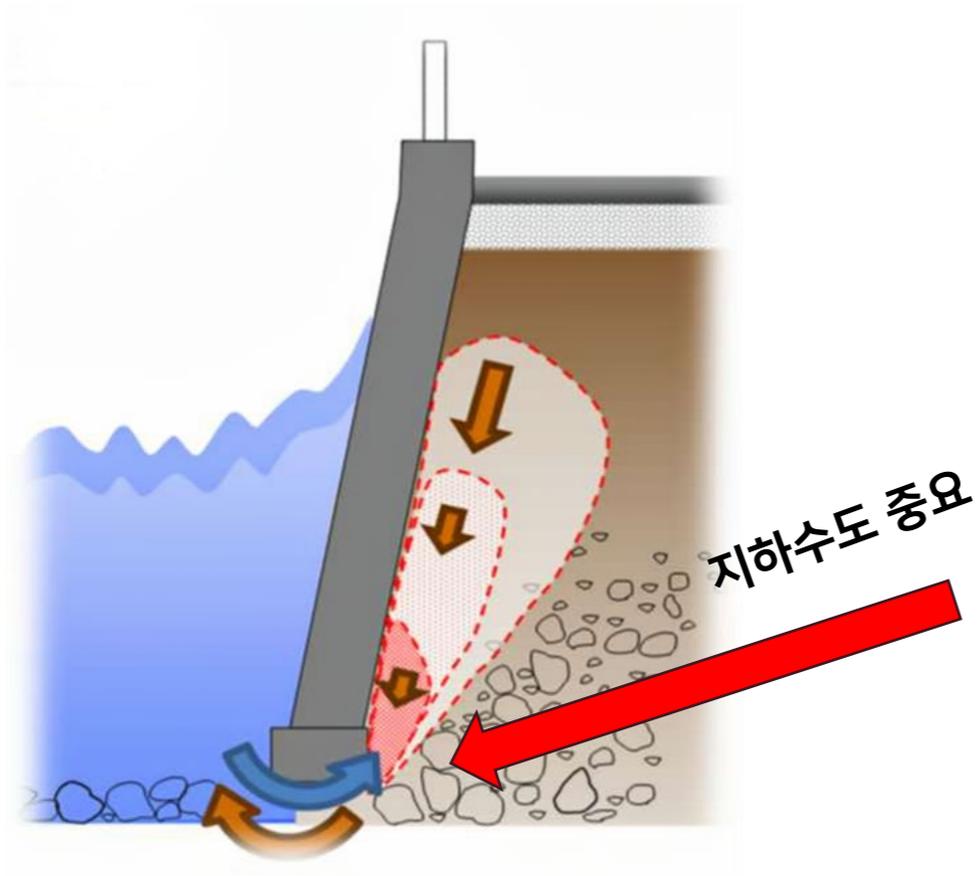
공동화한  
기초하면으로  
교대 배면의 토사가  
유출



2019.10.22일  
일본 국도 361호  
곤베에<sup>権兵衛</sup> 2호교  
배면 함몰 발생  
(태풍 통과 10일 후)

# 하천·해안 호안에 기인한 공동·함몰

(출처: 모리 요시토시<sup>森啓年</sup> 교수 발표자료 및 언론보도)



호안의 결함·손상 부위를 통한  
토사의 흡출·유출로  
노면함몰 발생



2023.08.17일 오카야마현  
도로함몰 및 호안 붕괴

2018.05.16일 니이가타현  
동향 임항도로 함몰



# 상수관에 기인한 노면 함몰

(출처: 언론보도 및 유튜브)

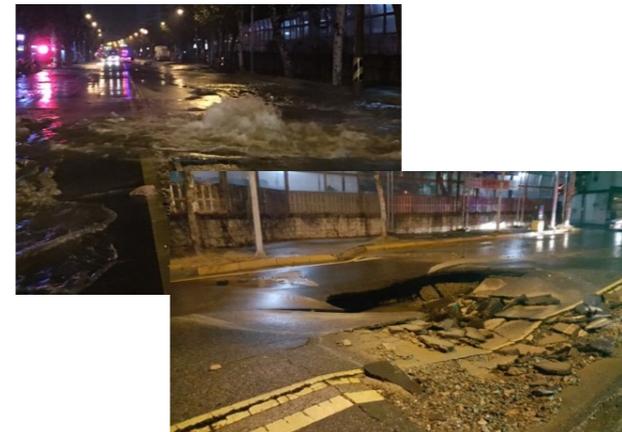


2025.02.11일 일본 치바현 상수도 파손으로 함몰  
10m 높이의 물기둥 발생

**공사로 인한 공동·침하발생으로 상수관  
손상이 발생하기도**



2025.03.30일 일본 교토시  
상수도 파손으로 함몰  
고조도리<sup>五条通</sup> 수백m 침수



2017.12.07일 대전 동구  
상수도 파손으로  
주택 침수 및 도로 함몰



발 밑이 위험해요!

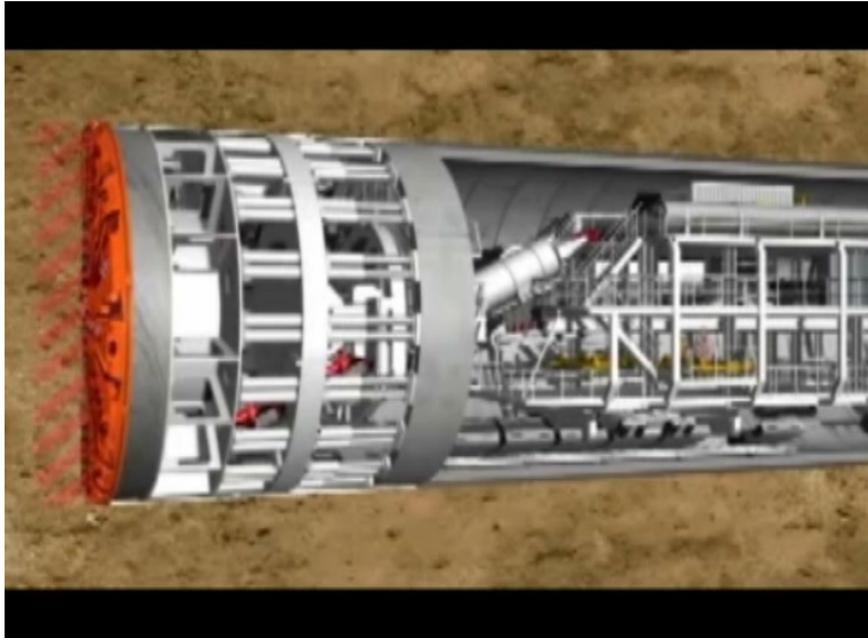
땅 꺼짐

## 05. 굴착공사로 인한 함몰

오늘도 여기저기서  
땅을 파는데...

**굴착공사 관리 부실로 인한  
땅꺼짐은 주로 대형사고 초래**

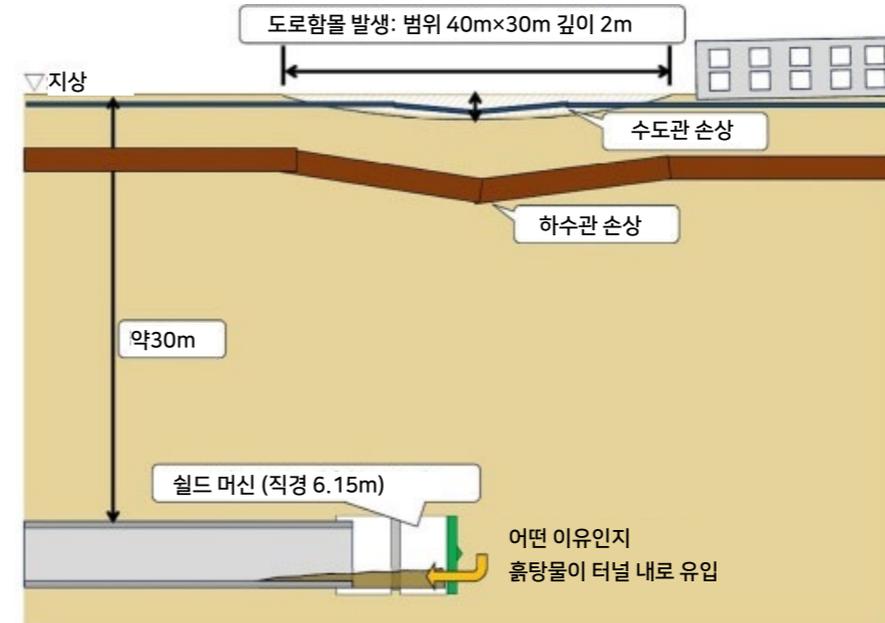
# 실드터널 공사로 인한 함몰



실드머신(shield machine)이라는 기계를 이용해 지중을 굴착·전진하면서 라이닝까지 동시에 작업하는 터널공법 도시부, 연약지반 등에 적용

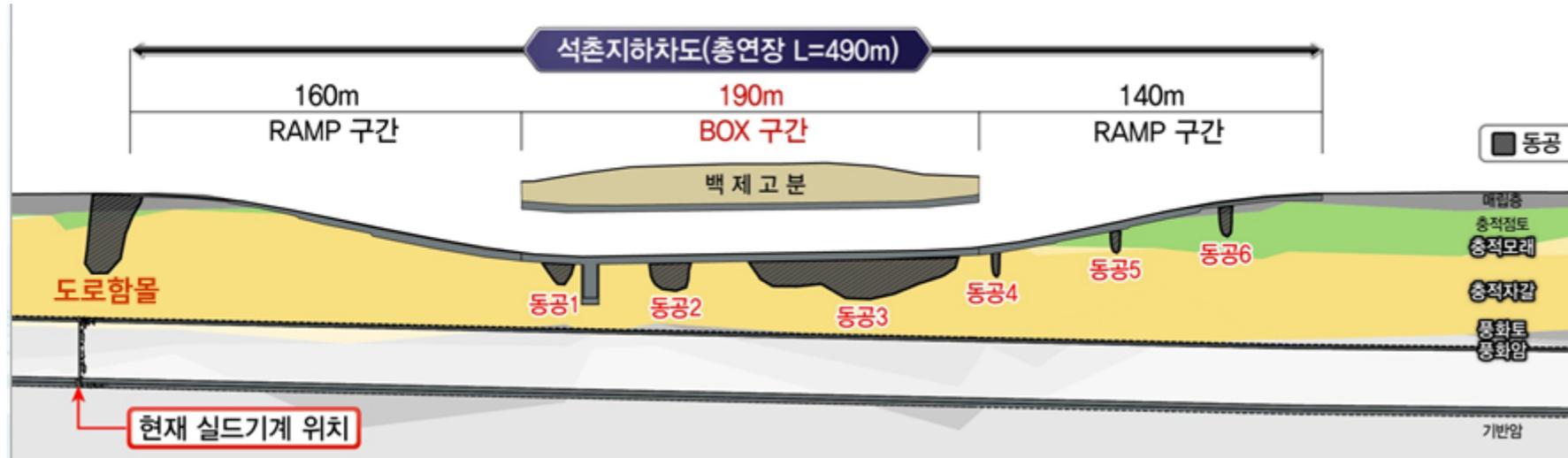


- 2024.09.26
- 히로시마시 서구
- 하수관 터널공사 (실드TBM 굴착)
- 폭 40m 규모의 땅꺼짐 발생
- 주변 건물이 기울어지는 피해

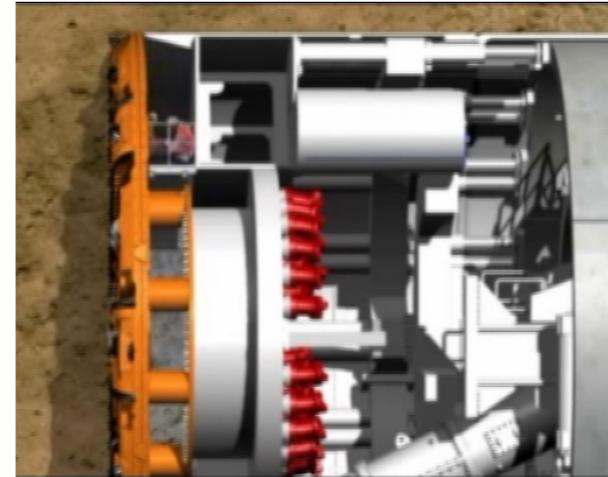
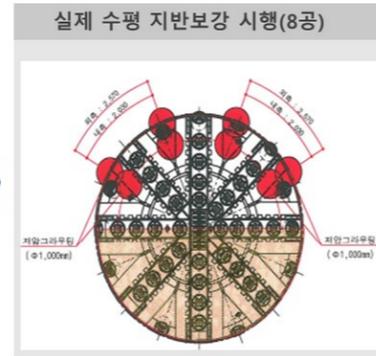
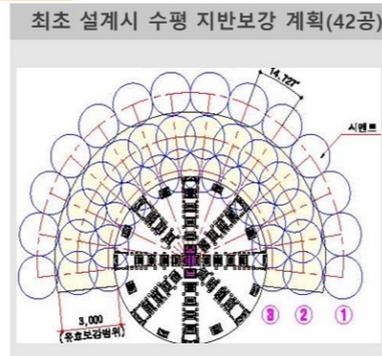


# 실드터널 공사로 인한 함몰

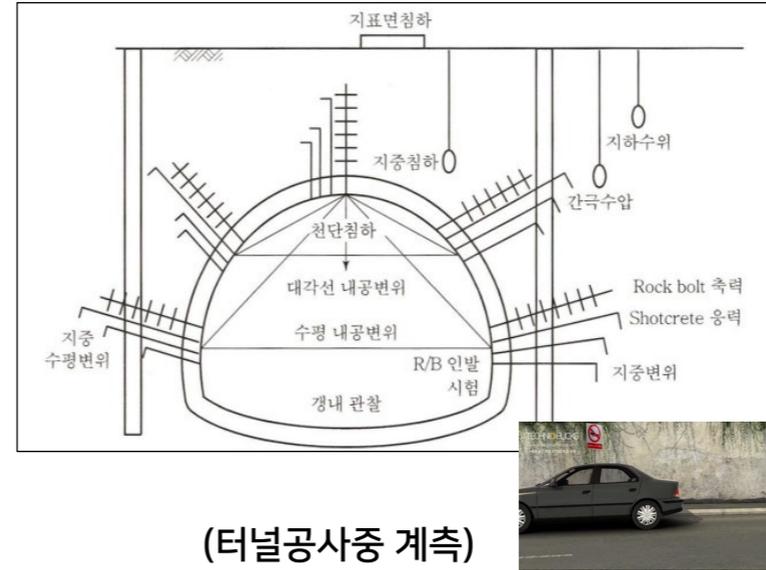
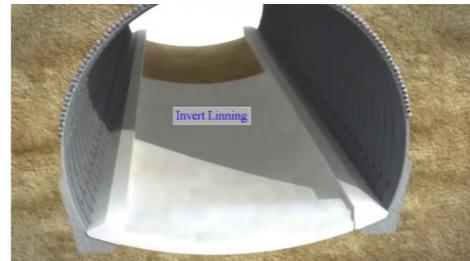
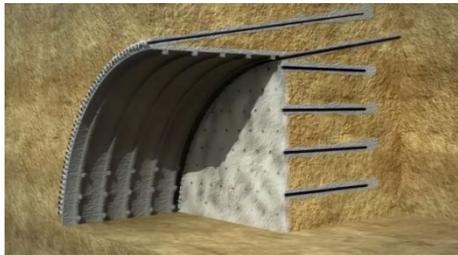
(출처: 2014.8월 석촌지하차도 공동발생 원인조사 발표)



- 2014.08.14
- 서울시 송파구 석촌지하차도 하부에 길이 80m 공동 발견
- 지하철9호선 공사장 상부 (실드TBM공법)



# NATM 터널공사로 인한 함몰

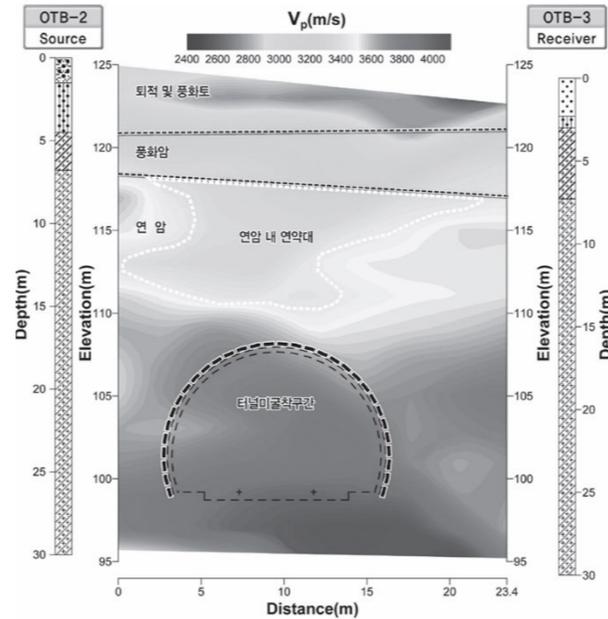


- **NATM(New Austrian Tunneling Method)**은 터널 굴착 시 **지반 자체의 강도를 최대한 활용**하는 공법
- 터널을 뚫을 때 주변 암반을 주 지지 구조로 사용하고, **슛크리트(Shotcrete)**, **록볼트(Rock Bolt)**, **와이어 메시(Wire Mesh)**, **강지보재(Steel Rib)** 등을 보조적으로 사용하여 **지반을 안정화**
- 굴착 후 즉시 슛크리트를 뿜어 암반의 변형을 막고, **록볼트로 암반을 서로 결합시켜 강도를 높여 안정화**
- 이 과정에서 지반의 변위를 측정하고 분석하여 시공 과정에 반영하는 **계측(monitoring)**이 중요

# NATM 터널공사로 인한 함몰 사례



- 2025.03.24 18:24
- 서울시 강동구 명일동 대명초교
- 사망 1명, 부상 1명
- 오토바이 1대 추락
- 9호선 터널공사장(NATM)
- 주변 주유소 균열 등 사전 징후



- 2014.02.15일
- 수서평택간 고속철도공사 중
- 터널 천정 붕락 및 지표면 함몰
- 터널 상부 연약지반, 하천, 상수도 누수 등

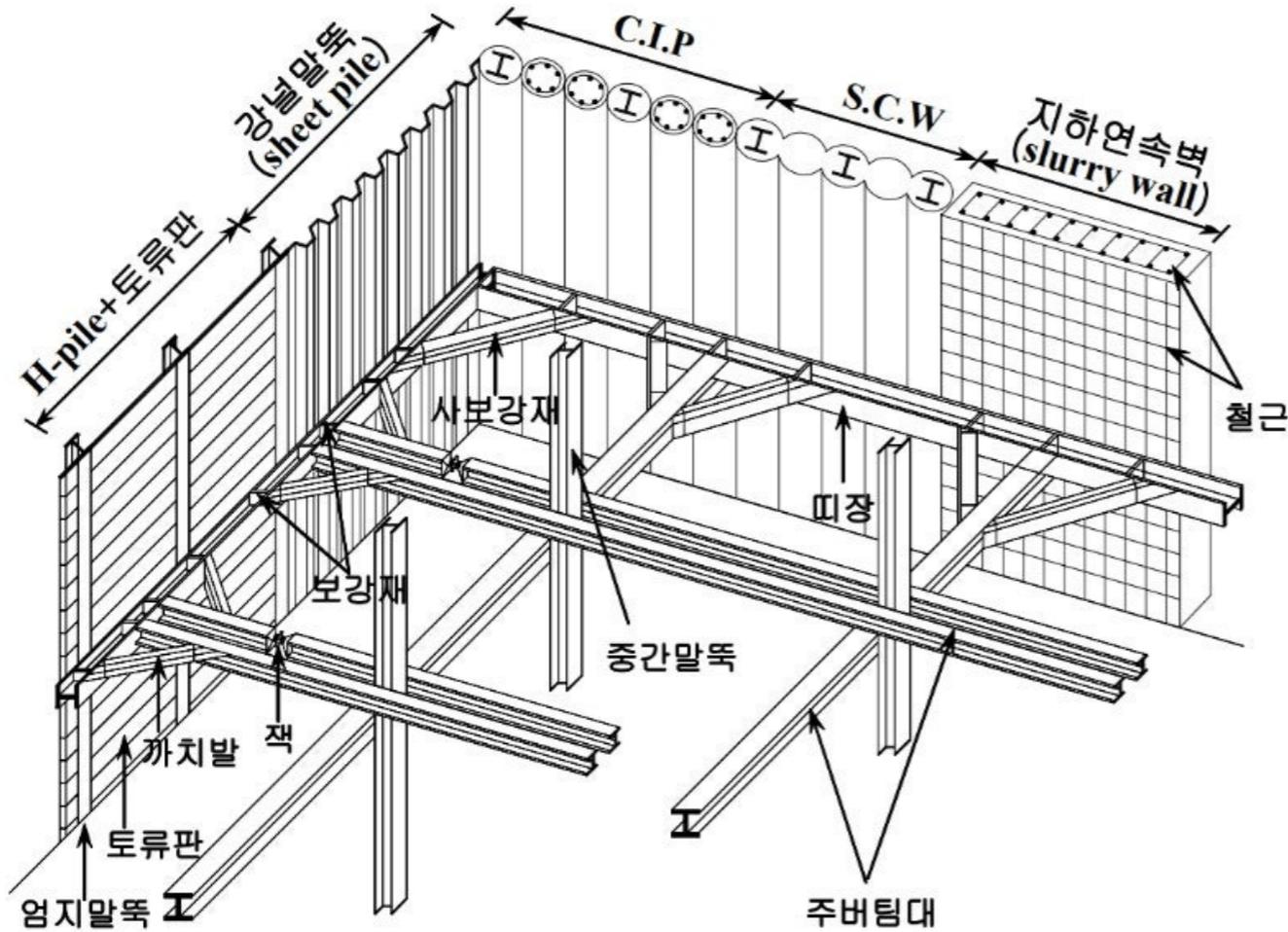


- 2016.11.08 04:25
- 후쿠오카시 하카다역(博多駅)
- 하부 시영지하철 나나쿠마선 연장 공사 시행 중 사고(NATM)
- 터널 내 누수 발견 즉시 작업자 대피 및 주변도로 통제

**터널 천정 함몰사고 다수 발생**

# (건축) 공사장 지하터파기에 기인한 노면 함몰

C.I.P. Cast In Place Pile(현장타설말뚝)  
S.C.W. Soil Cement Wall



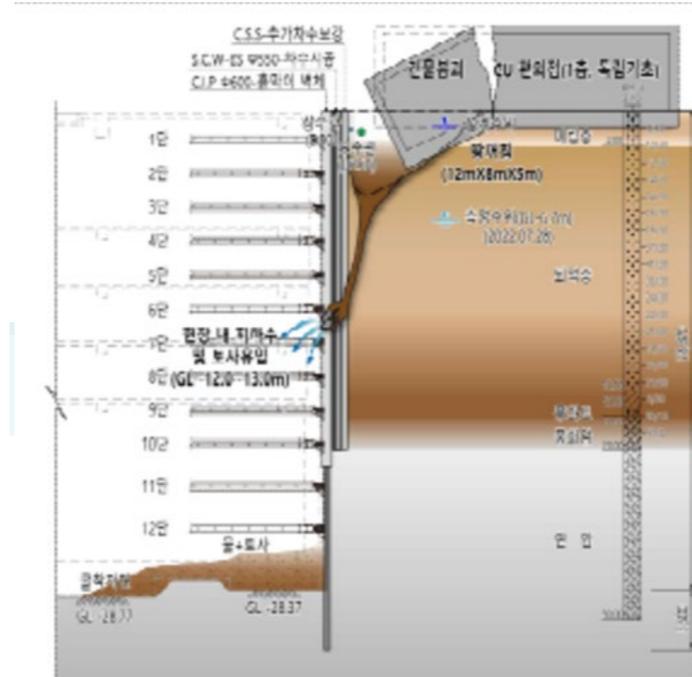
지하 터파기 시 토사·지하수 등의 유출과 지반이완  
방지를 위해 다양한 흙막이(차수, 지수)공법 적용 중

# (건축) 공사장 지하터파기에 기인한 노면 함몰

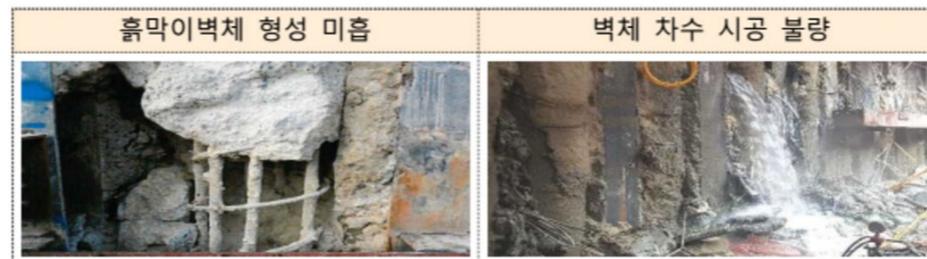
(출처: 국토교통부 양양군 사고조사결과 발표자료)



- 2015.02.20 14:00
- 서울시 용산구 용산역 앞
- 행인 2명 추락
- 대형건축공사장 옆 보도
- 공사장 토사 유실이 원인

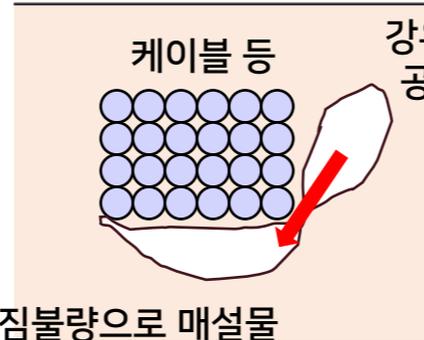


- 2022.08.03일
- 강원도 양양군 지반침하
- 가설 흙막이 벽체와 차수작업에 대한 시공 불량
- 지하수·토사 유입으로 침하



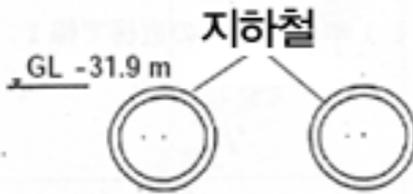
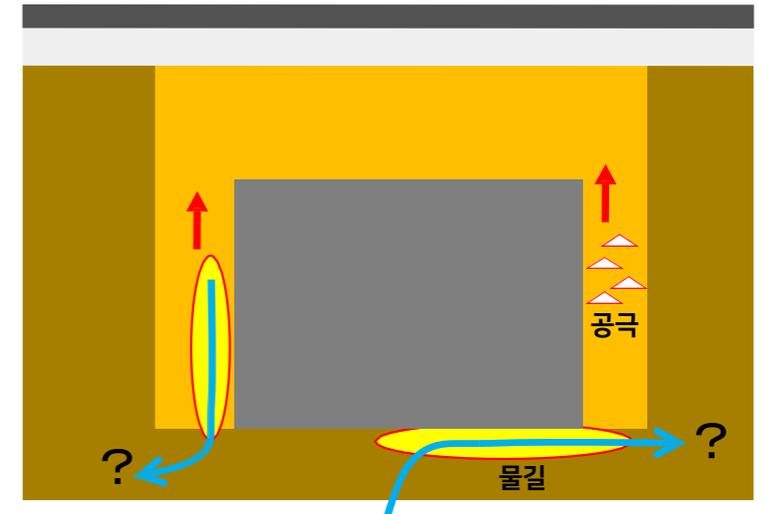
# 다짐불량 등에 의한 노면 함몰

(출처: 쿠와노레이코<sup>桑野玲子</sup> 교수 발표자료 및  
2009년 동경도 토목기술센터 연보)



매설 시 다짐불량으로 매설물  
하부에 긴 공동 발생

현저한 공동 생성없이 노면함몰에  
이르는 경우도 존재



1998.9월 함몰



1999.3월 함몰

되메우기재 다짐 불량?  
수로주변 세립분 유출?  
기타 알 수 없는 원인?



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

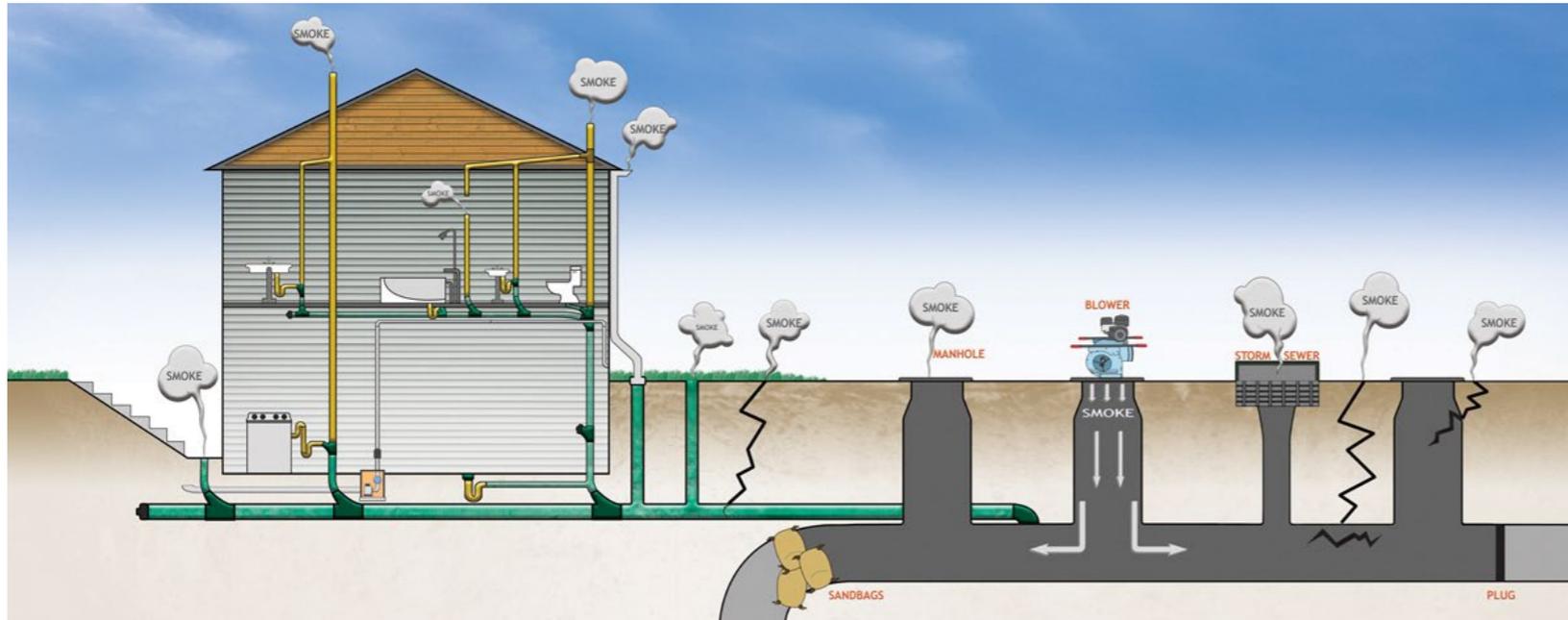
## 06. 땀겨짐 대책

무엇을 어떻게 해야 할까요?

06-1. 공동의 탐사

발 밑의 안전을 위해  
관산학민의 총력 대응 필요

# 하수관 결함 탐사 - Smoke Test



Smoke Testing Technique(그림 출처: Benton Utilities)

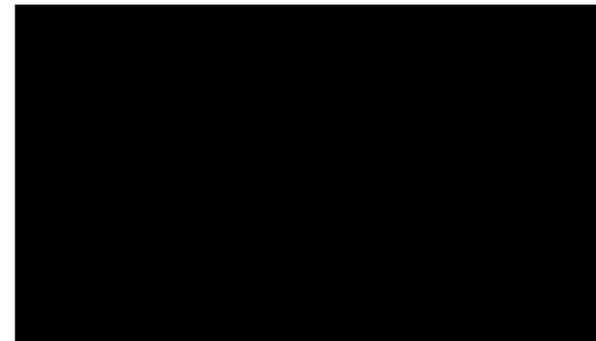
- 맨홀 등을 통해 비독성·무취·무해한 연기(액체 파라핀 사용)를 주입하여 하수관, 맨홀, 가정내 배관의 결함을 탐지
- 저렴하고 신속하게 결함부위 탐지 가능 - 미국 등에서 사용
- 연기 누출에 의한 직관적 판단 - 고도의 판독 기술 불필요
- 2014년 **서울시에서 여의도 일대에서 시범적용** - 연기로 인해 도심·주거밀집지 적용에 한계

# 하수관 결함 탐사 - 하수관 insepction camera



Sewer Inspection Camera(그림 출처: austeck)

- 하수관에 전방향 카메라를 탑재한 로봇을 투입해서 촬영한 영상을 통해 내부의 결함 탐지
- 국내에서도 고품질 장비 생산 중
- 2019년 서울시에서 시에 의한 결함 판독 연구 수행



서울시 AI+카메라



국내 로보캠S

## 1차 조사(노면 하 공동 탐사차에 의한 계측+ 데이터 해석)

공동의 가능성이 있는 신호 추출

공동 상면의 크기 및 깊이

노면 하 공동 탐사차  
계측



3차원 데이터화

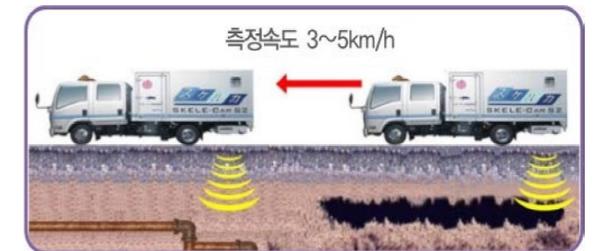
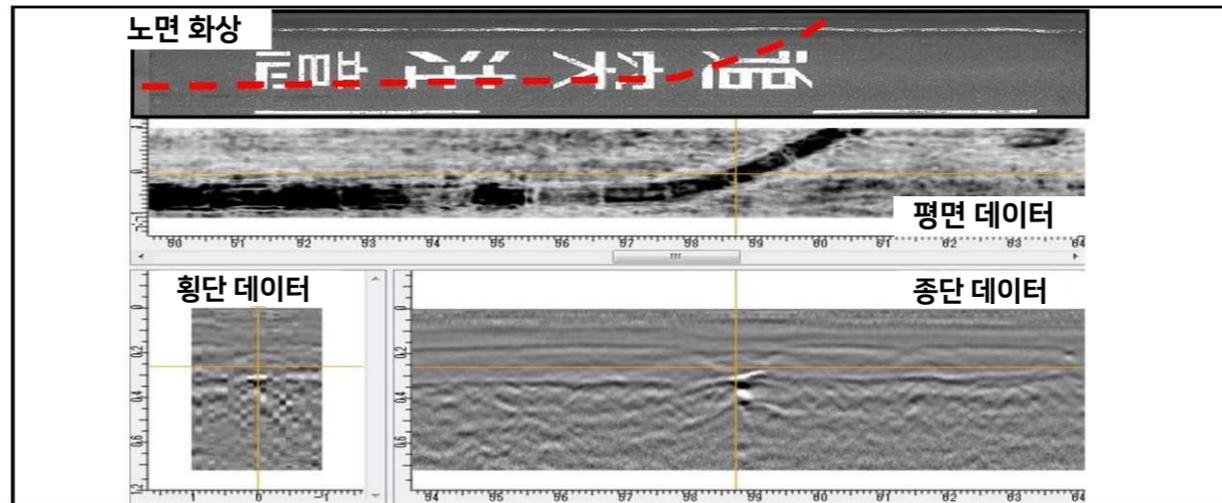
데이터 분석

1.5m이하의 얇은,  
0.5m<sup>2</sup> 이상 크기의  
공동을 탐사

최근에는 깊이 3m까지의 공동을 탐지 가능한 안테나 개발 활용 중,  
단, 국내는 아직 2m 이내 탐사



최대 100km/h까지  
주사 走査 가능

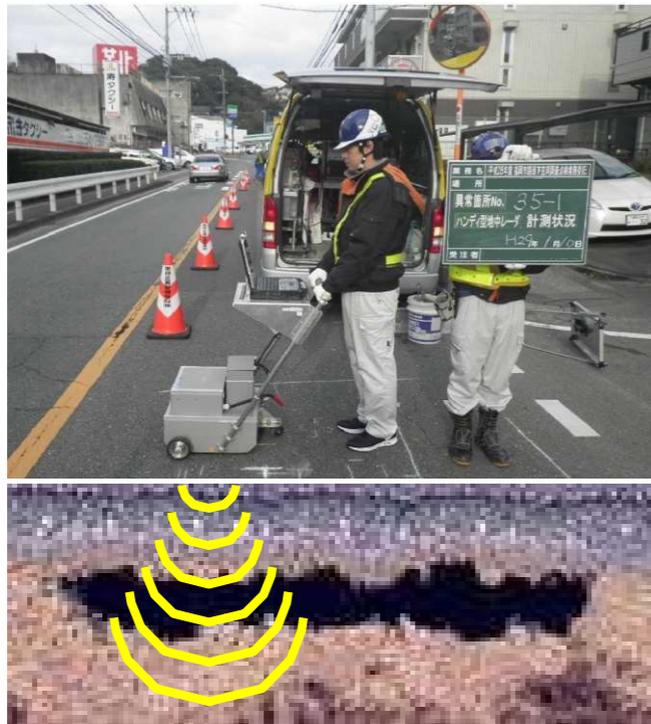


2014. 8월 서울시 대책 발표 시  
측정속도에 비해 장족의 발전

## 2차 조사(핸디형 GPR 조사 + 내시경 조사)

### 핸디형 지표탐사레이더 조사

이상의 종류, 범위 등 판정



### 내시경 조사

(소구경 드릴링/공벽 화상촬영)

공동의 유무 및 규모 확인



### 내시경 데이터 예

ド-ロスコ-ブ撮影記録		
異常箇所No.1		
撮影深度0.00~0.82(m)	構成/層厚(m)	深度(m)
0.00 ~ 0.22	アスコン 0.22	0.22
0.22 ~ 0.49	砕石 0.27	0.49
0.49 ~ 0.68	空洞 0.19	0.68
0.68 ~ 0.82	砂	

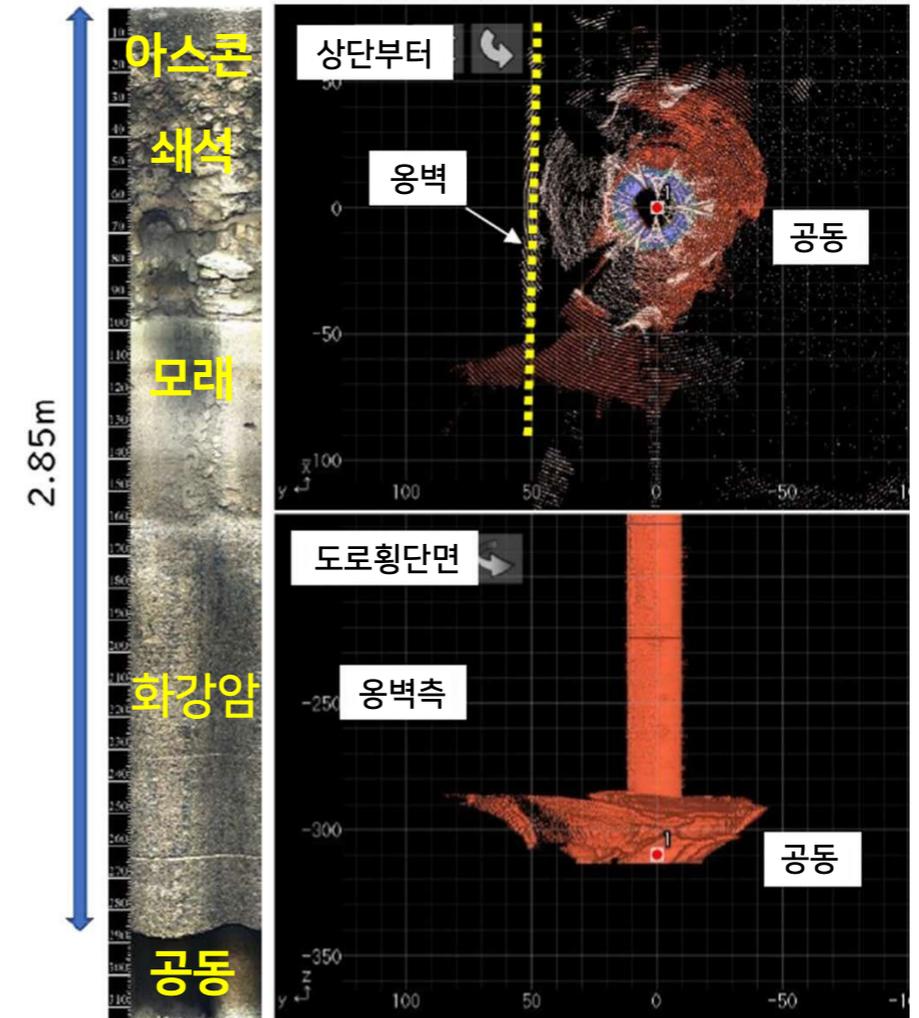
## 최근, 과거보다 깊은 곳의 공동에 대한 GPR 탐사도 실용화

탐사차	기존형	심부형
탐사 깊이	1.5m	3.0m
탐사 폭	2.5m	2.0m
검지 가능 공동 규모	0.5×0.5m 두께 0.1m	1.0×1.0m 두께 0.3m

- 전방위 카메라에 의한 공동 내공 관찰과 레이저 스캐너에 의한 형상 측정을 통해 상세 상황 파악
- 토사 유출 경로와 공동의 발달 과정을 확인

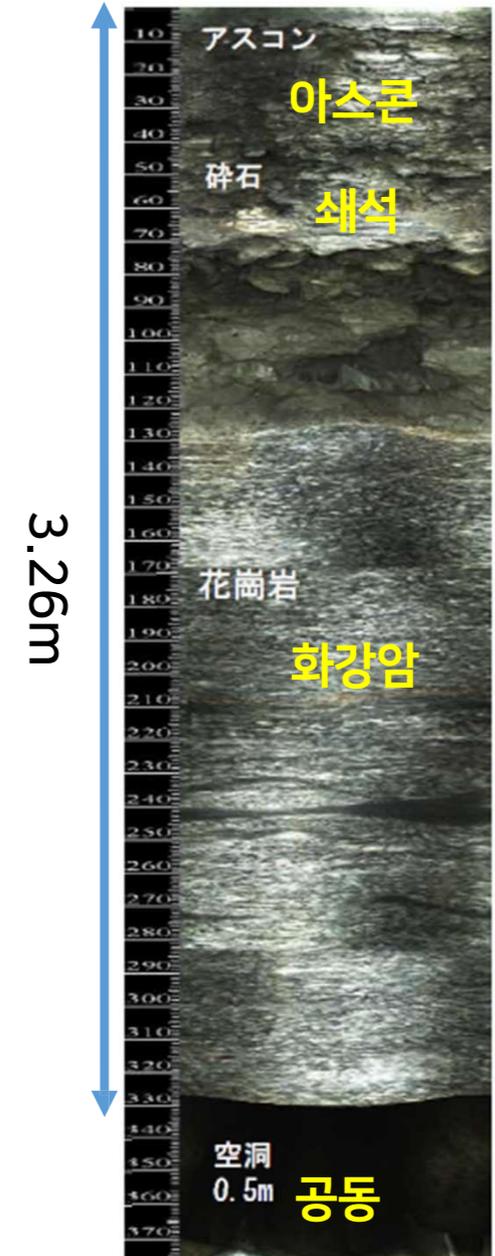
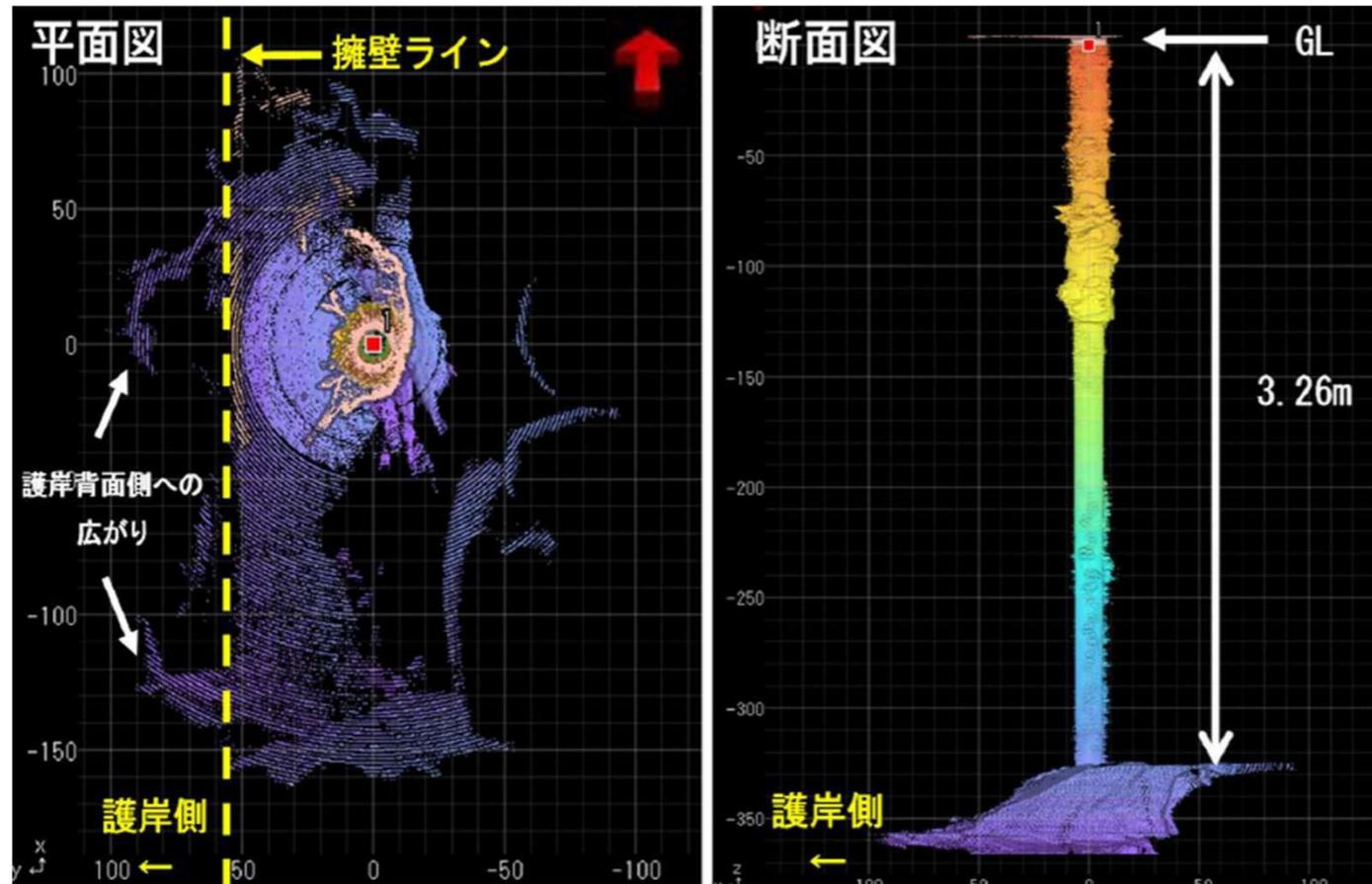
오카모토<sup>岡本</sup> 외 (2023), 심층노면 아래 공동의 시각화 사례, 제58회 지반공학연구발표회(후쿠오카), 12-7-1-04.

모리<sup>森</sup> 외(2023), 해안호안 부근의 노면하 공동 가시화 사례, 토목학회 제78회 연례학술강연회, III-59



해안 호안에 접한 국도에서 발견된 공동의 천공 조사 결과  
(깊이 2.85m, 두께 0.3m)

## 심부형 공동 탐사에 의해 발견된 해안 호안연접 공동 (깊이 3.26m, 두께 0.5m)



다카하시<sup>高橋</sup> 외(2024), 공동 발생 위치와 조기 발견을 고려한 신형 공동탐사차량에 의한 심부 공동의 확인 사례, 제59회 지반공학연구발표회(아시히카와<sup>旭川</sup>), 24-12-1-08.

# GPR 탐사의 정확도 및 신뢰성

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료 및 일본 신도로기술회의 성과보고 레포트 No. 30-5)

## 레이더 탐사(예비 조사)

적용 깊이: 1.5m 이내  
측정 단위: 10cm

## 공동 탐지 능력 지표

검지율: 잠재적 공동을 빠짐없이 찾아내는 능력

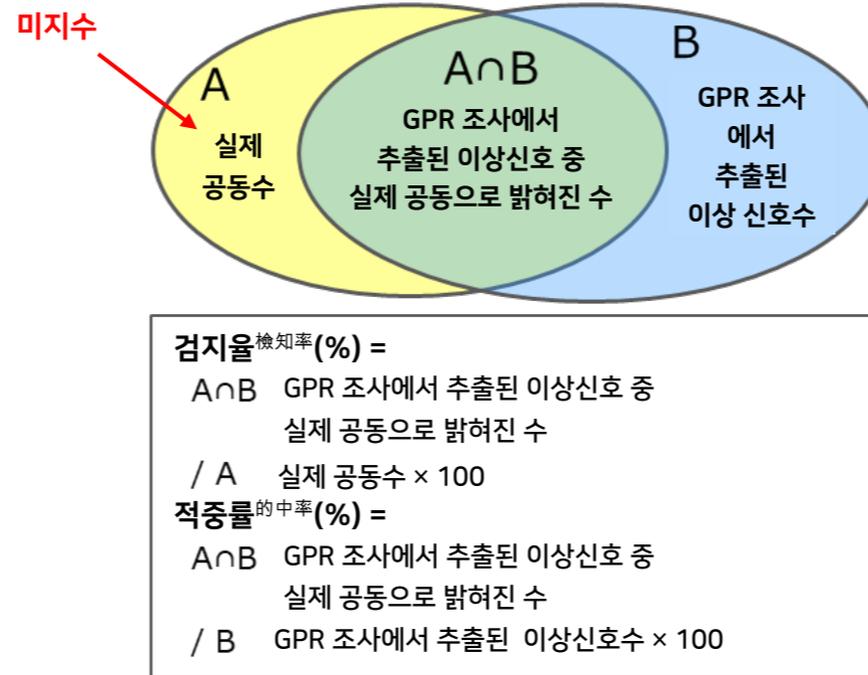
적중률: 1차조사에서 판정한 공동 신호의 정확도 비율

2015~2017년의 3년간의 공동 탐사 데이터 21,145건 중 내시경 조사를 통해 공동의 유무가 명확하게 밝혀진 사례에 대해

**적중률: 80~100%**  
**(평균 88.7%)**

(토쿠나가 외: 2019)

**GPR 탐사기술은 거의 성숙**



검증률檢証率(%) =  $\frac{\text{2차 조사 개소수}}{\text{GPR 이상신호 개소수}} \times 100$

- 실제 공동수는 파악하기 어려운 미지수
  - 적중률이 탐지 정확도를 나타내긴 하지만, 탐지능력의 전부를 표현하지는 않음에 유의 필요

	2015~17년 공동조사 데이터		
이상 신호 수	21,145件		
↓			
차량탐재형 장치에 의한 1차 조사 및 2차 조사로 공동의 유무를 확인			
4,500件			
↓			
검증률 80% 이상			
670件			
↓			
2차 조사 결과	공동	비공동	적중률
	594	76	88.7%

(차도부의 공동조사 추출조건 및 적중률)

- 공동탐사 업체 선정 시 검지율·적중률 활용
  - 다수의 업체가 동일구간에서 공동 탐사를 실시, 상대적 검지율과 적중률을 비교
  - 실제 공동수는 참가업체가 발견한 공동의 합으로 가정

# GPR 탐사의 정확도 및 신뢰성

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료 및 일본  
신도로기술회의 성과보고 레포트 No. 30-5)

## GPR에 의한 공동 깊이 측정

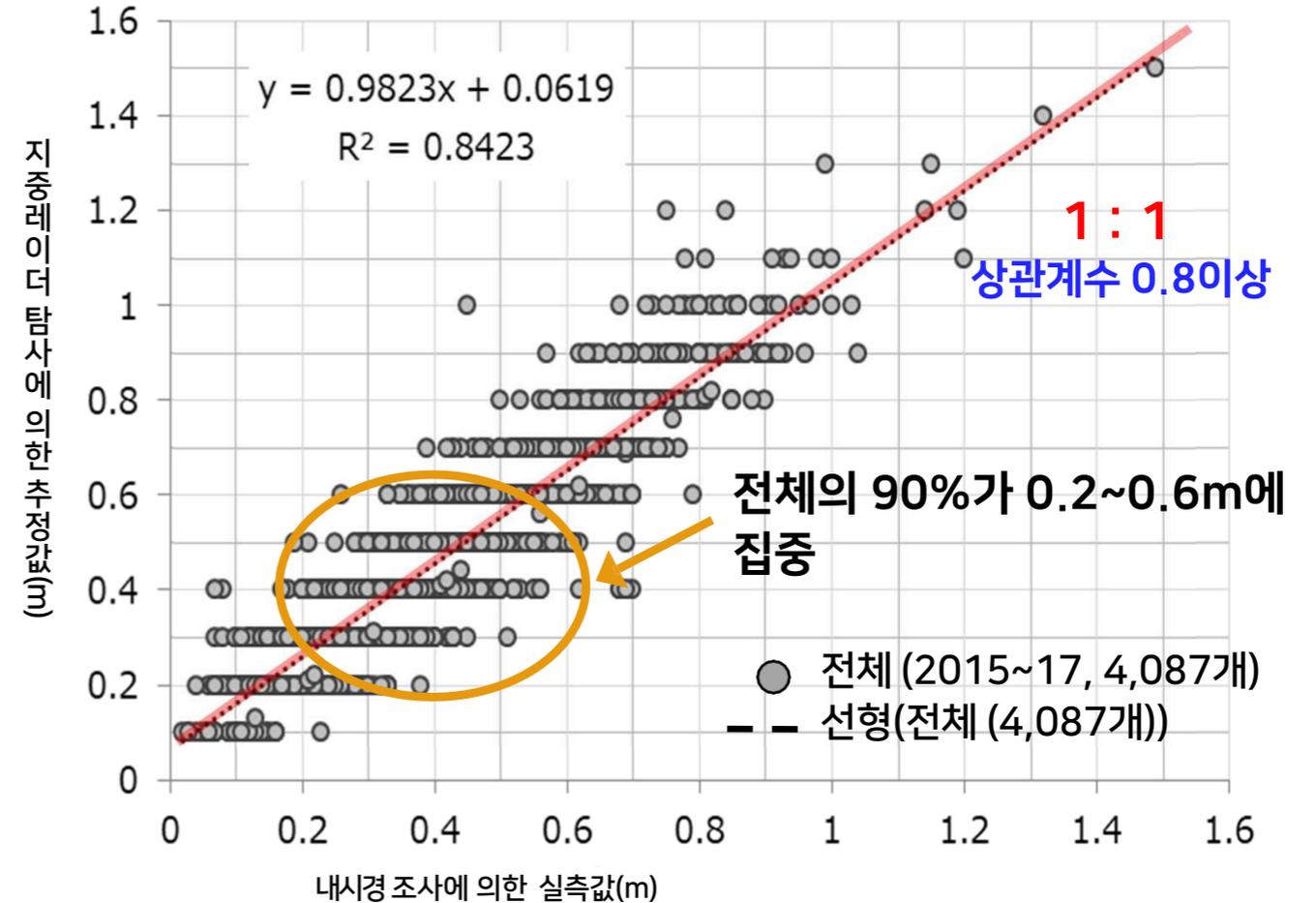
- 깊이 = (공동 상면의 반사파 수신시간) × (전파속도)
- 전파속도는 **지반의 비유전율** 比誘電率 을 사용하여 가정
- 10cm 단위로 측정

GPR 측정 공동의 깊이는 20cm 정도 더 깊게 나타남

- 레이더 탐사<sup>10cm</sup>와 내시경 조사<sup>1cm</sup>의 측정 단위 차이
- 내시경용 천공 시 공동 상부 토사의 붕락
- 레이더 탐사와 내시경 조사 실시시기의 차이 등  
(하마야 외: 2019)

### 비유전율 比誘電率 (Relative Permittivity)

- 어떤 물질이 전자파를 얼마나 잘 통과하는지를 나타내는 물리량
- 진공의 유전율(Permittivity)  $\epsilon_0$ 에 대한 특정물질의 유전율  $\epsilon$ 의 비율
- 즉, 비유전율  $\epsilon_r = \epsilon_0 / \epsilon$



(공동깊이 측정 정밀도 실측분포도)

# 일본과 국내의 GPR 탐사 결과 비교

## 일본

도로 관리 구분	단위도로 연장당 공동 수 (개/km)
국가,도,부,현	0.59
도쿄도/정령시	2.06
도쿄 23구	2.09
기타자치단체	1.37

2014·15년도에 조사한 도로연장 10,091km (공동수9,94개소)의 데이터 분석 결과

### 전형적인 노면하 공동의 규모

깊 이: 0.3-0.6m (대부분 포장 직하부)  
두께: 약 0.6m 미만이 거의 반  
면적: 0.25~2㎡

코이케<sup>小池</sup> 등., 노면아래 공동 발생 분석 및 고찰, 제72 회 토목학회 연례 학술강연회, 후쿠오카<sup>福岡</sup> 2017년 9월

## 국내

점검 구분	단위도로 연장당 공동 수 (개/km)
특별점검 구간	0.191
일반점검 구간	0.115

국토부, 굴착공사장 안전관리 강화방안 (2025.05.28 )

국토안전관리원, 굴착공사장 GPR 점검  
특별점검(24.10~12월) 356Km, 공동 68개  
일반점검(24년) 2,308km, 공동 266개

탐사된 km당 공동수가 일본의 1/3~1/20 수준  
우리의 도로가 더 안전한 걸까?  
아니면 탐사 기술력이 떨어지는 걸까?

탐사장비의 신뢰도 및 전담인력의 전문성 부족이 원인?

탐사의 빈도 증대와 함께  
정확도 제고도 중요

## 국내

지하안전관리 업무지침 제83조 제1항

### 지하안전점검 빈도

- 육안조사 - 1년에 1회 이상
- 공동조사 - 5년에 1회 이상



2025.5.28일 굴착공사장  
안전관리강화방안 발표

### 지하안전관리 강화

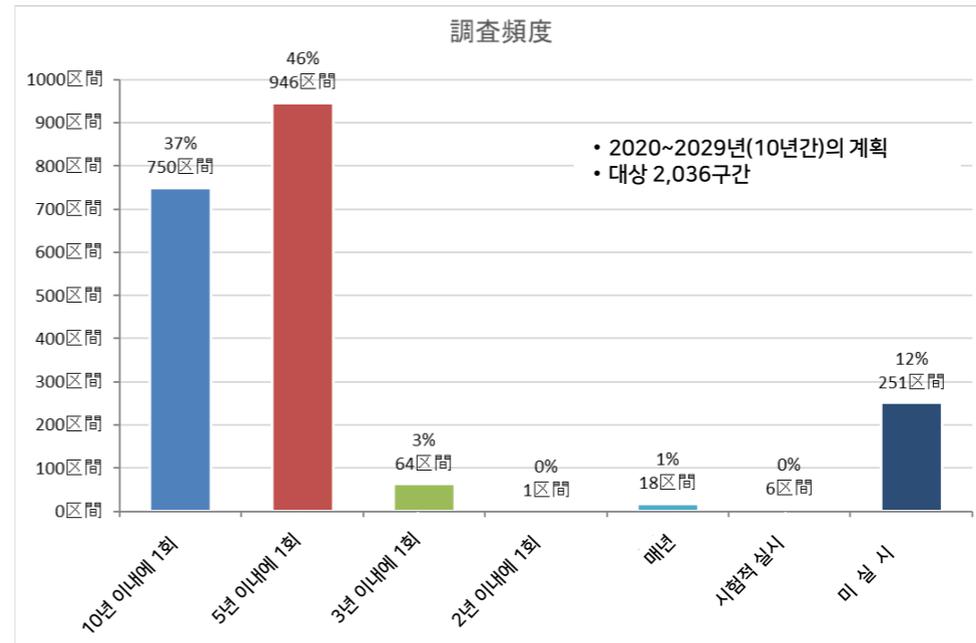
- 고위험지역 예측·관리기준 마련
- 안전점검 주기 상향
  - 일반지역 5년에 1회
  - 주의관심지역 2~3년에 1회
  - 고위험지역 연간 2회

## 일본

노면지하의 적절한 관리에 대한 지침(2011년)

### 공동조사 빈도 설정

- 공동의 발생 이력, 지하매설물 상황 등을 고려 공동 탐사 시기 결정
- 매년 1회 ~ 10년 내 1회



### 지자체 사례

군마현<sup>群馬県</sup>  
2009~21년 1회 점검

시즈오카시<sup>静岡市</sup>  
10년에 1회  
탐사결과  
Km당 1개소 이상은  
5년에 1회 탐사 결정

후지사와시<sup>藤沢市</sup>  
2015~2016  
주요도로 1회 탐사  
2019년 이후  
주요도로 2회 탐사 및  
생활도로 1회 탐사 중



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 06. 땡꺼짐 대책

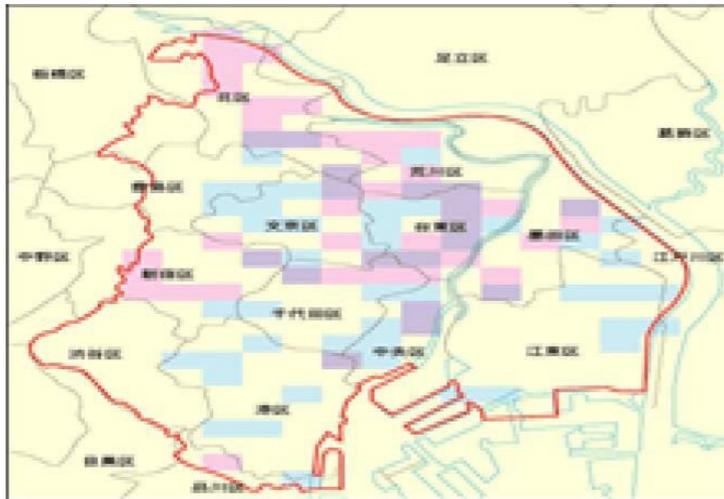
무엇을 어떻게 해야 할까요?

06-2. 노면함몰지도

**발 밑의 안전을 위해  
관산학민의 총력 대응 필요**

## 2014년 조사 시

도쿄도에서 도로함몰지도 운영 확인  
다만, 최근 조사에서는 확인 안 됨



2014년 조사 당시  
도쿄도 도로함몰지도 이미지

## 최근 - 시정촌 **함몰 퍼텐셜 맵** 개발

### 목 적

- 지도를 통해 **생활도로가 주된 시정촌 지역의 함몰 잠재성·경향** 파악
- 한정된 자원·인력의 효율적 활용을 통한 노면함몰 대책 시행
- **공동탐사계획 입안 및 공동 보수 우선순위 설정** 등에 활용
  - 주요간선도로는 기 조사된 자료를 활용 중이나
  - 함몰의 80%를 점하는 시정촌 도로를 위한 자료 미흡
- 하수도 등 **관련 인프라의 관리에 활용**

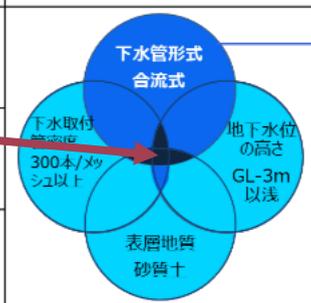
### 퍼텐셜의 정의

- 공동 퍼텐셜 =  $f$  [공동 소인<sup>素因</sup>, 기여도]
- 함몰 퍼텐셜 =  $f$  [공동 퍼텐셜, 확대 가능성]

## 시범제작 - 가나가와 神奈川県 후지사와 藤沢市

- 관산학공동연구
  - 후지사와시, 도쿄대 생산기술연구소, (주)지오서치
  - 2017.4~2019.3(2년간)
- 지역의 현황 파악 및 공동 데이터베이스 구축
  - 기존 공동조사<sup>300km</sup> 결과 + 시간선도로에 대한 추가조사 공동 280개소 정보 + 공동원인규명조사 결과 활용 → 857건의 DB화
  - 공동·함몰 80% 이상 남부지역에 집중, 함몰원인의 40% 하수도시설
- 지역 메쉬<sup>mesh</sup> 설정
  - 국가표준격자 활용 - 시 전역을 **1,198개 격자**로 분할(변 길이 250m)
- 퍼텐셜 평가
  - 하수관 노후도, 가정연결관, 지하수위, 원지반·되메우기 재료의 유동성 등 4가지 소인<sup>素人</sup>을 활용
  - High+, High, Middle, Low의 네 가지로 분류

인자 중복 시 퍼텐셜값 높음

퍼텐셜 값	함몰인자의 조합
High+ (잠재확률 70%-)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>하수도관로형식: 합류식</li> <li>하수연결관 밀도: 300개/메쉬 이상</li> <li>표층 지질: 사질토</li> <li>지하수위 깊이: GL 3m 이내</li> </ul>
High (잠재확률 50-70%)	
Middle (잠재확률 10-50%)	
Low (잠재확률 0-10%)	없음

퍼텐셜 값(잠재확률)	발생빈도 도로연장당 평균값	
	함몰 개소/km	공동 개소/km
High+ (70% -)	1.4	4.6
High (50-70%)	0.7	2.4
Middle (10-50%)	0.2	0.4
Low (0-10%)	0.1	0.3

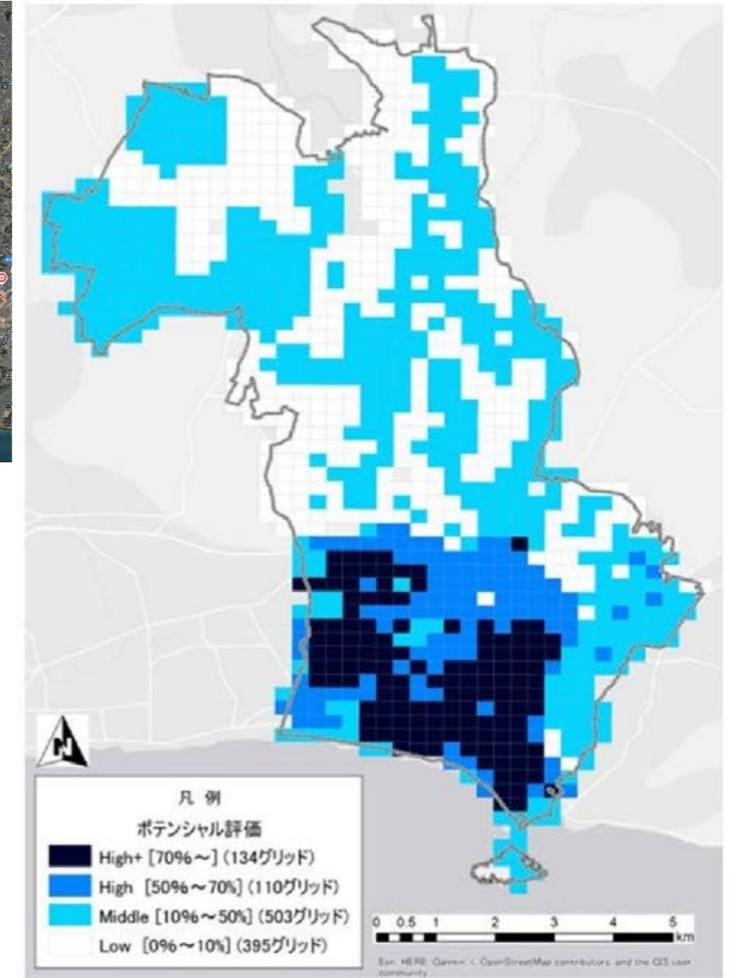
퍼텐셜 값 Y와 발생빈도 x의 관계식(근사식)

함몰 개소/km	$Y = 0.46x - 0.085, R^2 = 0.918$	공동 개소/km	$Y = 1.508x - 0.352, R^2 = 0.8977$
----------	----------------------------------	----------	------------------------------------

퍼텐셜 값과 발생빈도에 대한 근사식 도출  
함몰 1개 발생 시 그 주변에 3개의 공동 존재 추정

## 시범제작 - 가나가와<sup>神奈川県</sup>현 후지사와<sup>藤沢市</sup>시

- 함몰 포텐셜 맵의 활용
  - 후지사와시, 퍼텐셜 맵을 활용하여 **공동조사계획 입안 및 실시**
  - 1차년도, **High+ 지역의 생활도로 공동조사** 시행
- 함몰 퍼텐셜 맵의 검증
  - 1차년도 공동조사 결과를 활용
  - 공동은 추정치보다 2배 이상 발생: 간선도로와 생활도로의 차이에 기인 (맵 작성 시 간선도로 자료 활용, 코이케<sup>小池</sup>의 도로구분에 따른 공동 수 비율과 유사한 결과)
  - 함몰은 추정치와 유사
  - **함몰·공동 데이터의 정도<sup>精度</sup>에 퍼텐셜 맵의 신뢰성이 의존**
- **하수도의 장수명화 계획에도 활용**
- 사후검증 결과를 반영하여 지속적 개량 작업 추진 예정



(후지사와시의 함몰 퍼텐셜 맵)

## 공동·붕괴 퍼텐셜 맵 작성 효과

- 해당 지역의 공동 형성의 주요 소인<sup>素因</sup> 규명
- 조사 빈도 및
- 조사 중점 지역 설정

## 공동·붕괴 퍼텐셜 맵 작성을 위한 필요사항

- 공동, 함몰, 유지 보수 데이터 정리 및 관리
- 매립 인프라, 지형, 지질 및 지하수 데이터와 통합 및 분석

필수 자료	추가 요망 자료
<ul style="list-style-type: none"><li>• 공동 데이터</li><li>• 지질</li><li>• 하수도 본관(매설 연대, 재료 등)</li><li>• 하수 연결관</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 함몰 데이터 - 지형</li><li>• 지하수위 - 포장 사양</li><li>• 교통량</li><li>• 매설물(혼잡한 매설관)</li><li>• 대형 지하구조물</li><li>• 강우·지진 이력</li></ul>

- 굴착공사장 및 굴착공사 이력

# 노면함몰관련 지도 - 국내

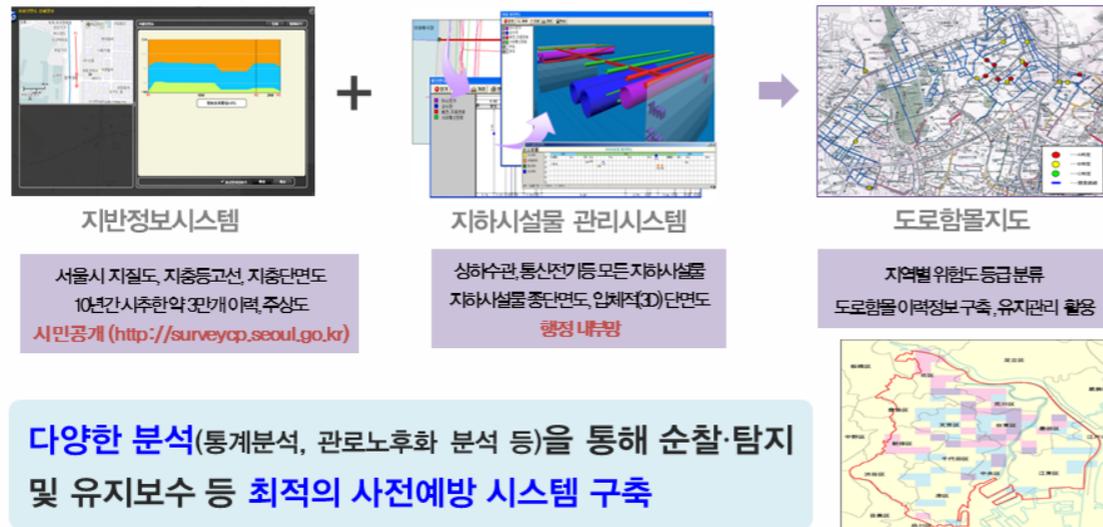
(출처: 2016. 12월 서울시 도로함몰대책)

## 서울시

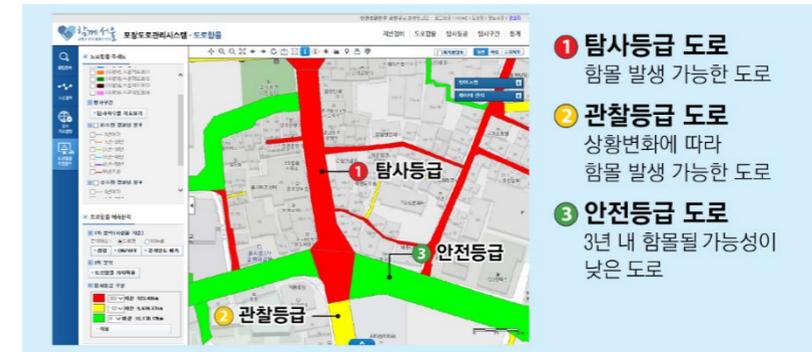
- 2014. 08월 도로함몰 대책 수립 - 도로함몰지도 구축 포함
- 2016. 02월 도로함몰 2D지도 구축
  - 도로함몰 143건, 공동 421건, 지반침하 3,542건 입력
  - 지하매설물 12종, 지하수위, 지질도 및 시추공 자료 등 연계
- 2016. 09월 도로함몰 예측기능 개발
  - 서울시 전체도로를 3등급으로 구분, 도로함몰 예방업무에 적용

### ▶ 서울시 지질도와 지하시설물 시스템을 활용하여 도로함몰지도 구축

- 도로함몰 이력 정보 구축
- 지하철, 대형건물 주변, 30년이상 노후 하수관로, 침수지역 포함



(2014. 08월 서울시 도로함몰대책)



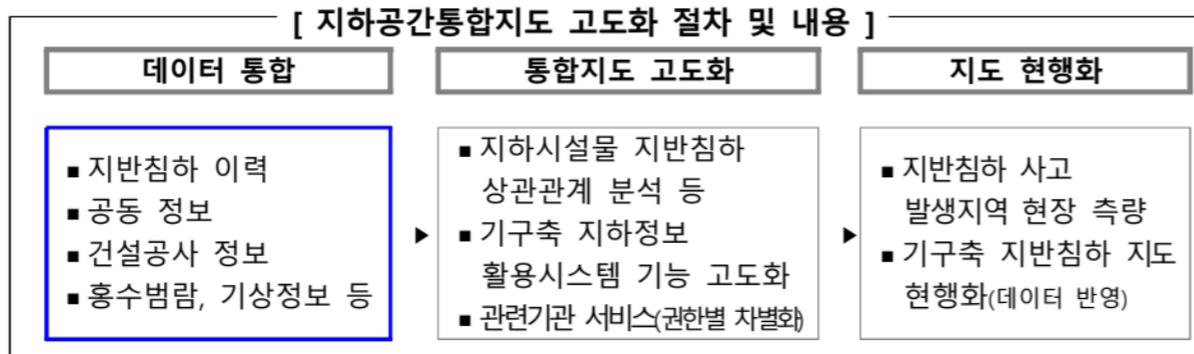
동공탐사노선 선정, 개량대상 하수관 조사노선 선정 등에 활용 중  
(2016. 12월 서울시 도로함몰대책)

- 2024.08월 **지반침하 안전지도 제작**
  - 연희동 함몰사고 이후 제작, **땅꺼짐 위험도를 5단계로 구분**
  - 내부관리용으로 시민들 공개 요구에 **비공개 결정**
- 2025.05월 **지반침하지도 공개**
  - 지하철역 공사구간 등 350km 구간 탐사결과 등

## 국토교통부

- **지반침하 예방대책으로 2022년 지하통합지도<sup>3D</sup> 구축**
  - 국가공간정보기본법 등에 따라 정보접근 제한 - 활용 미흡
  - 지반침하 이력, 공동 현황 등 정보 부재 - 활용 제한
- ※ 포함 정보
  1. 상하수도, 전력, 통신, 가스 등 매설지하시설물 7종
  2. 지하철, 공동구, 지하보차도, 지하주차장 등 지하구조물 6종
  3. 지반특성, 지층 종류 등 지반정보 3종
- **통합지도 고도화 추진 예정**
  - 통합지도 고도화방안 수립('25년) → 기능고도화 추진('26~'29년)

- 2014년에도 일부 전문가 3D 지하통합지도를 땅꺼짐 해결책으로 제시
  - 일본 사례에서 보듯, 함몰 위험도에 따라 공동 탐지·보수 우선순위를 선정하는 보조수단일 뿐, 궁극적 해결책이 아님에 유념 필요
- 제2차 지하안전관리기본계획 상 **2027년 이후** 지반침하 예측 지도 구축 마스터플랜을 수립하는 것으로 제시
  - **지역별 시범 제작으로 지식·경험을 축적하면서 단계적 확대 필요**



(3D 지하통합지도와 관련보도)



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 06. 땡꺼짐 대책

무엇을 어떻게 해야 할까요?

06-3. 공동의 보수

발 밑의 안전을 위해  
관산학민의 총력 대응 필요

## 공동의 보수

- 공동 보수는 ① 굴착 보수 ② 채움재 주입 ③ 관찰 등으로 구분
- 함몰의 원인을 확실히 찾아 토사의 유출 부분을 폐쇄하는 것이 중요
- 함몰 위험이 낮은 경우 모니터링에 의한 경과 관찰도 유효
- 보수까지의 응급처치 - 노면 보강
- 공동이 일어나기 쉬운 장소 - 함몰 예방을 위해 노반 보강

### ① 굴착 후 보수 방법

- 하수관 등 지하매설물의 손상에 의한 공동은 굴착 후 매설물 교체 및 복구
- 관 재생공법 등 일부 제외, 대부분 굴착 후 복구 시행 중
- 가장 확실한 방법이지만, 시간과 비용 과다

### ② 채움재 주입

- 시공시간과 비용 절감 가능
- 채움재의 유동성이 크고, 손상 부분 잔존 시 매설관 내부로 채움재 누출 - 유로에 퇴적 등 우려
- 비굴착공법으로 공동 내부 또는 매설관의 손상상태 파악 애로

### ③ 관찰

- 함몰 위험 잔존



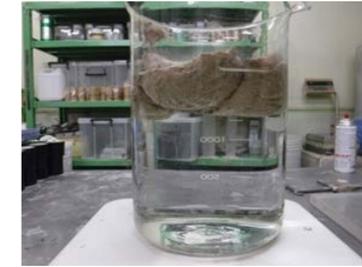
# 공동의 보수 - 공동 채움재 充填材 개발

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료 및 일본 신도로기술회의 성과보고 레포트 No. 30-5)

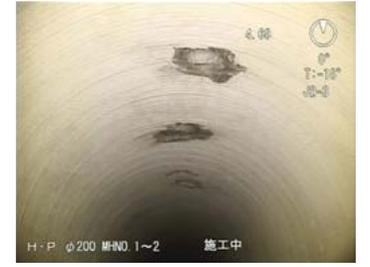
- 기존 채움재의 문제 정리, 요구 성능 및 개발목표 설정
- 채움재의 흠으로의 침투 확인 실험
- 모니터링 노선 내의 공동에 대해 충전 시행

↓ 파손된 하수관으로 누출되는 사례 존재

**근처에 파손된 하수관이 있어도 누출되지 않도록 개발목표 수정**



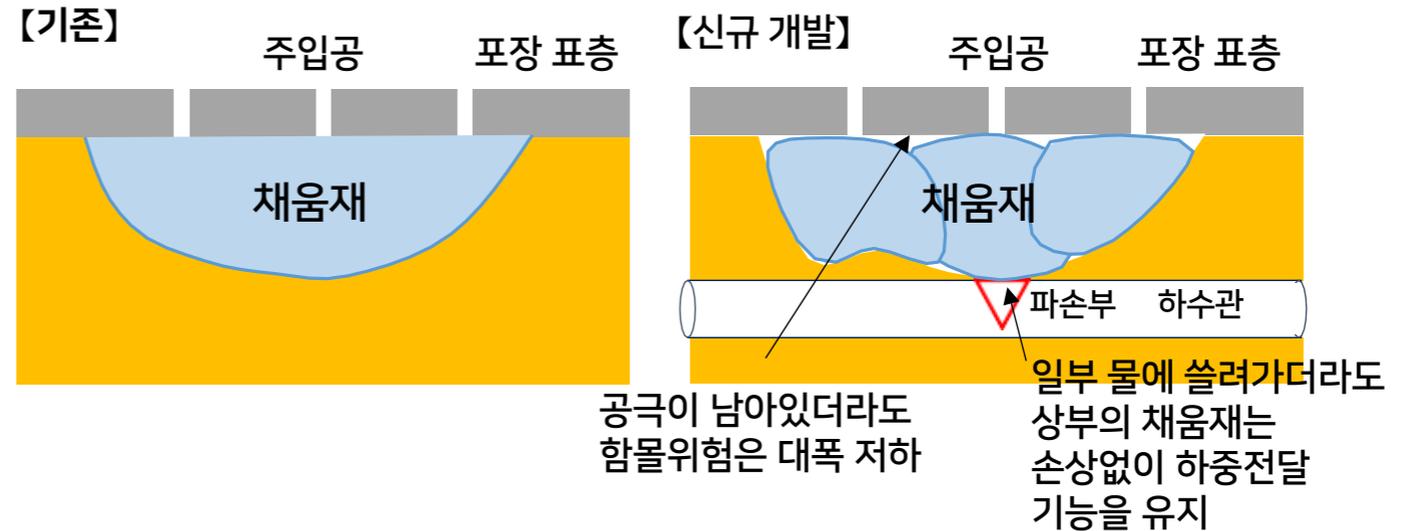
(무분리성 실험)



(채움재 충전 완료 후)

## 목표 물성:

- ① 가소성 可塑性
- ② 수중 불분리성
- ③ 분리저항성
- ④ 단위 체적당 질량 (경량, 1.0 미만)
- ⑤ 일축 압축 강도(재발굴을 고려)
- ⑥ 속경성



## 공동 보수용 가소성 채움재 개발

물 첨가율에 의해 채움재의 유동성 조절 가능. 주변에 파손된 하수도가 있는 경우에는 저유동성, 파손된 하수도가 없는 경우 고유동성 사용 가능. 재굴착을 고려하여 강도를 필요충분한 범위로 설정

# 공동의 보수 - 노면 보강방법 개발

(출처: 쿠와노레이코 桑野玲子 교수 발표자료 및 일본 신도로기술회의 성과보고 레포트 No. 30-5)

## 노반 보강

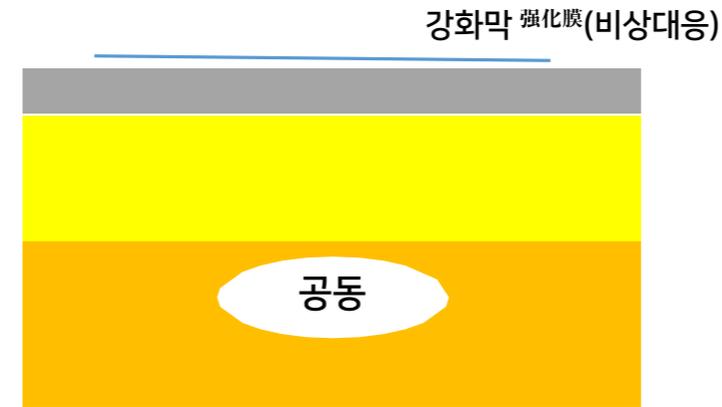
공동 상부의 지반(노반)이 남아 아치arch 효과를 기대할 수 있으면, 함몰은 발생하기 어려움  
노반 내에 보강재를 부설하여 노반 붕괴를 방지



Full-scale 시험 도로에 보강재 (Geotextile) 부설

## 노면 보강

공동을 발견해도 즉시 보수할 수 없는 경우도 있기 때문에, 노면에 응급 대책으로 보강재를 부설, 강화막을 형성함으로써 함몰 억제



시공 상황  
(아라미드 섬유 시트)



노면 보강 개소의 외관



적재 시험



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 06. 땡꺼짐 대책

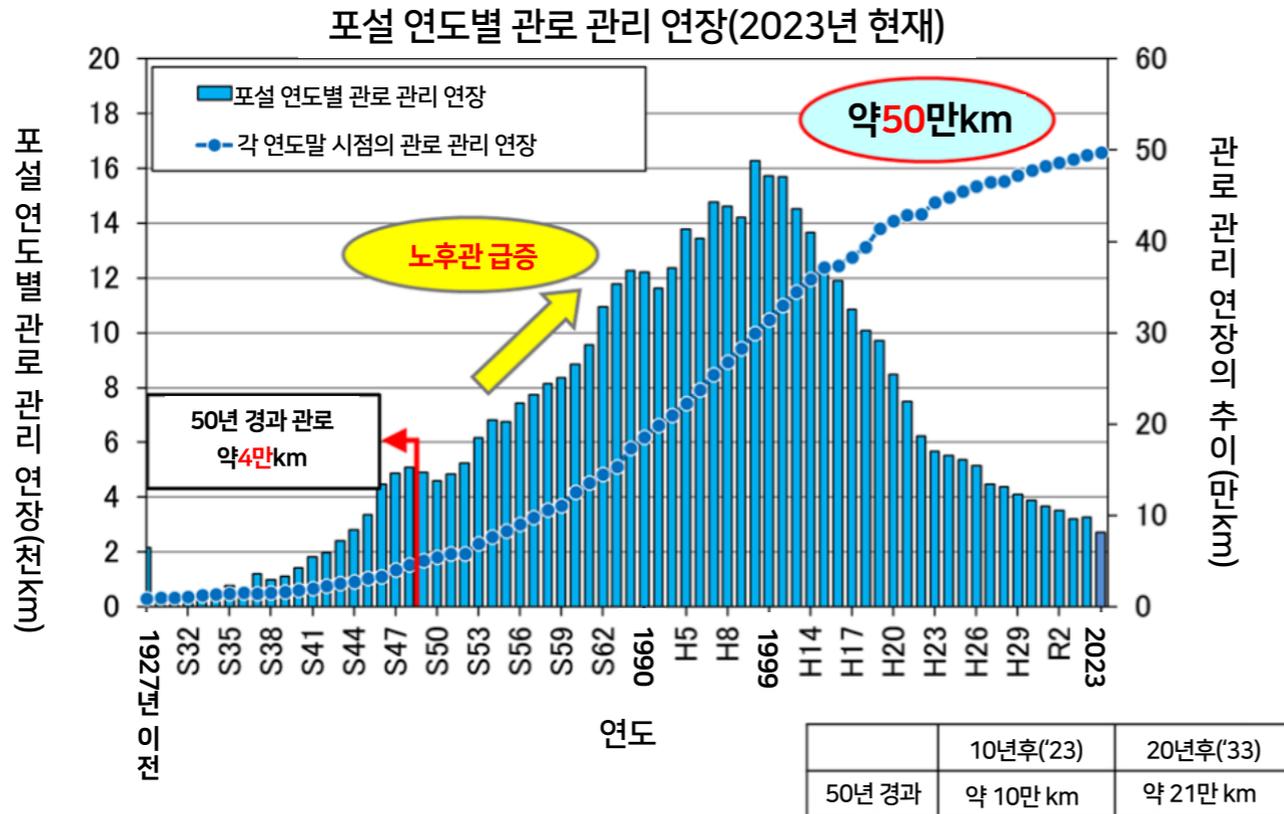
무엇을 어떻게 해야 할까요?

06-4. 하수도 시설의 노후화 대책

발 밑의 안전을 위해  
관산학민의 총력 대응 필요

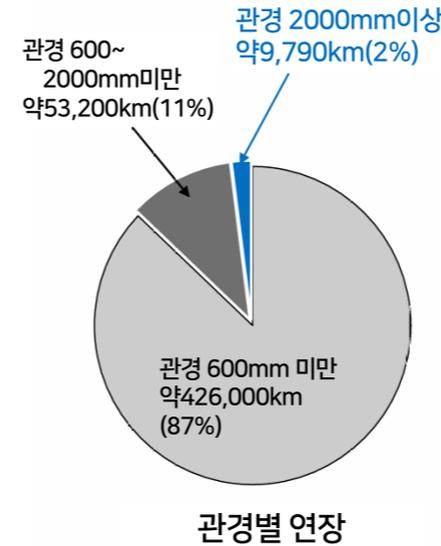
## 하수관로 현황 - 전국

- 2023년말 기준 전국 총연장 약 50만km
- 표준내용연수 50년을 경과한 관로 약 4만km(약7%)
  - 10년 후 약 10만km(약20%), 20년 후 약21만km(약42%)



## 관경 2000mm 이상 관로 현황

- 2022년말 기준 전국 총연장 약 9,790km(약2%)
- 표준내용연수 50년을 경과한 관로 약 1,200km
  - 20년 후 약5,700km(약60%)



(출처: 일본 국토교통성, '하수도시설관리 등 현상')

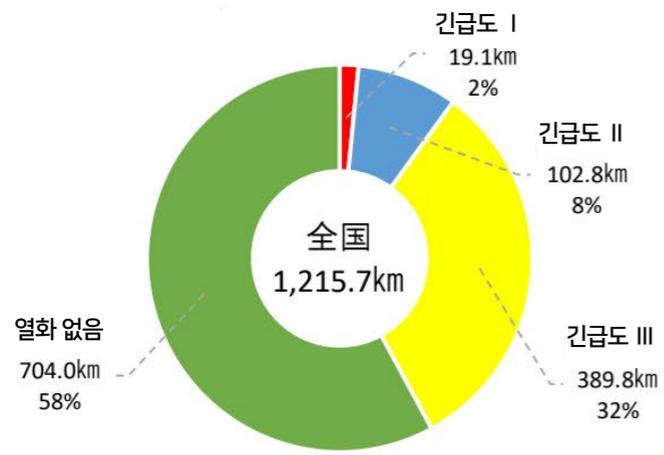
## 하수관로 노후 현황

(출처: 일본 국토교통성, '하수도시설관리 등 현상')

- 2016년 이후 2회에 걸쳐 조사
  - 1차 점검: 2016~2021년, 부식위험이 높은 지역 1,215.7km
  - 2차 점검: 2021~2023년, 부식위험이 높은 지역 626.4km

- 하수도법 시행령상 부식 우려 개소 5년에 1회 점검 의무화
  - 하수관 부식의 원인인 황화수소 H<sub>2</sub>S 누출이 현저한 장소 (유로경사 급변 또는 현저한 유로의 고저차, Inverted Siphon 등)

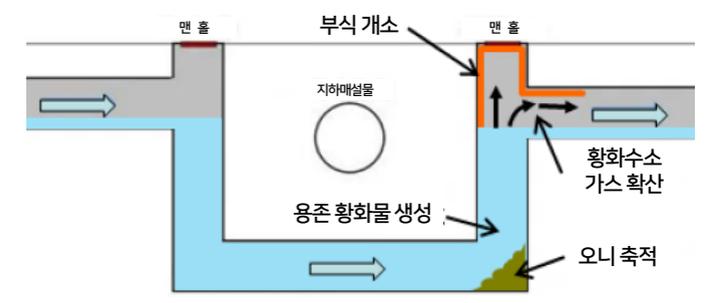
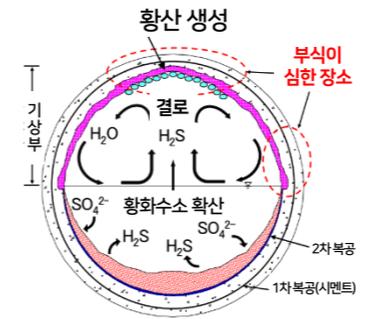
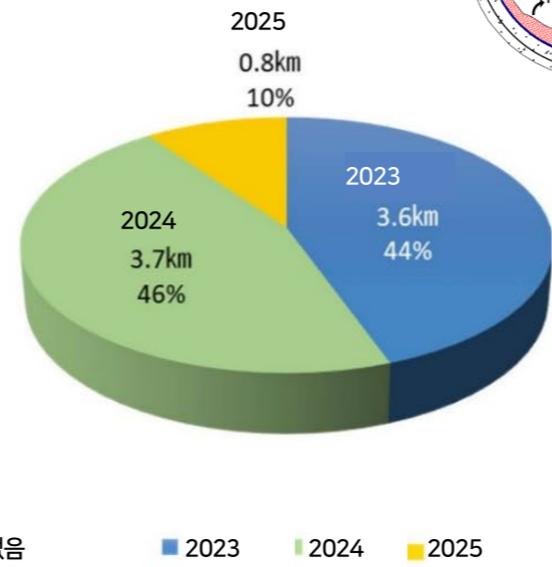
조사결과(1회차 5년간)



조사결과(2회차 3년간)



긴급도 I에 대한 조치



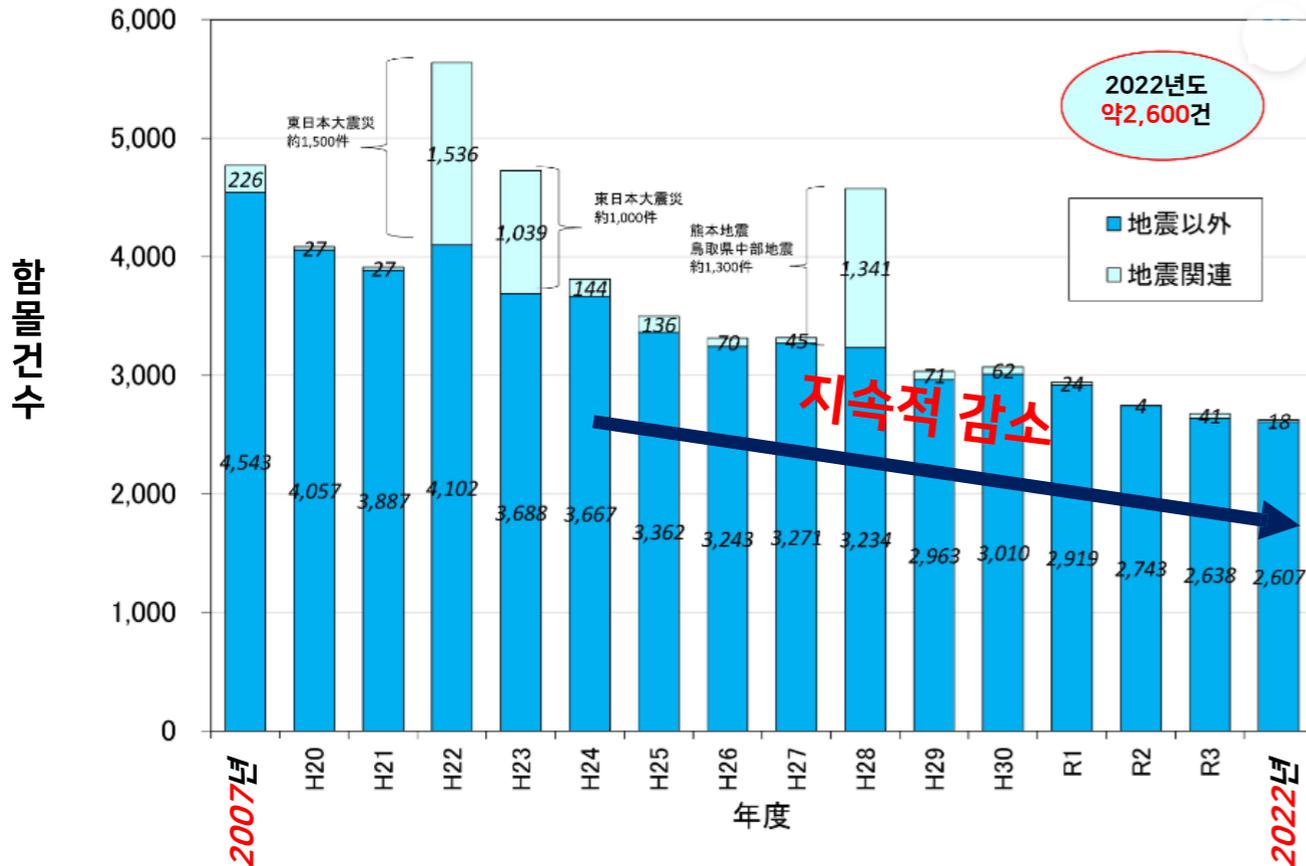
- 2차 점검 결과 긴급도 I로 판정된 8.1km는 2025년까지 조치 완료

긴급도	구분	대응 기준
I	심함	신속한 조치 필요
II	중간	간이 대응, 필요 조치 5년 이내
III	경미	간이 대응, 필요 조치 5년 이후

## 중앙정부

- 중앙정부·지방정부 모두 하수도시설 노후화 대책 및 공동대책 시행에 따라 지속적 감소 중

- 관로 개축 시 개착 후 관로교체공법 대신 기존 관로를 활용한 **관 갱생공법**을 적용, 비용 절감 및 공기 단축



[구경 300mm, 연장 200m인 경우: 약1,400만엔 절감]

포설 교체공법과 관 갱생공법의 비교	
비용	(개착공법) 약3,000만엔 → (관갱생공법) 약1,600만엔 <b>약1,400만엔 절감</b>

[구경 300mm, 연장 500m인 경우: 2개월 단축]

포설 교체공법과 관 갱생공법의 비교	
공기	(개착공법) 약5개월 → (관갱생공법) 약3개월 <b>약2개월 단축</b>

# 하수도 시설의 노후화 대책 - 도쿄도

(출처: 일본 도쿄도 하수도국)

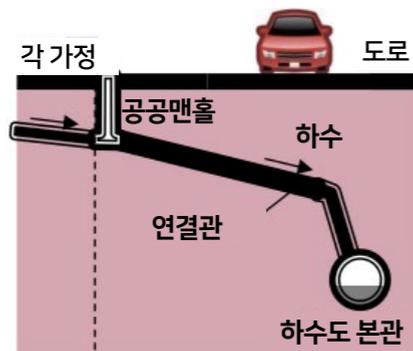
## 도쿄도의 노후화 실태와 함몰 대책

- 구부<sup>区部</sup> 하수도관 약16,200km(2023년) 중
  - 법정 내용연수 50년 초과 1,800km(11.1%, 2017년)
  - 2037년 기준 8,900km(53.0%)
- 하수도관에 기인하는 도로함몰 약530건(2015년) 중
  - 약 70%가 가정과 하수본관의 연결관에서 발생

- 구부를 노후도에 따라 3개 지역으로 분할
  - 제1기 지역부터 재구축: 2029년 완료 목표로 추진 중



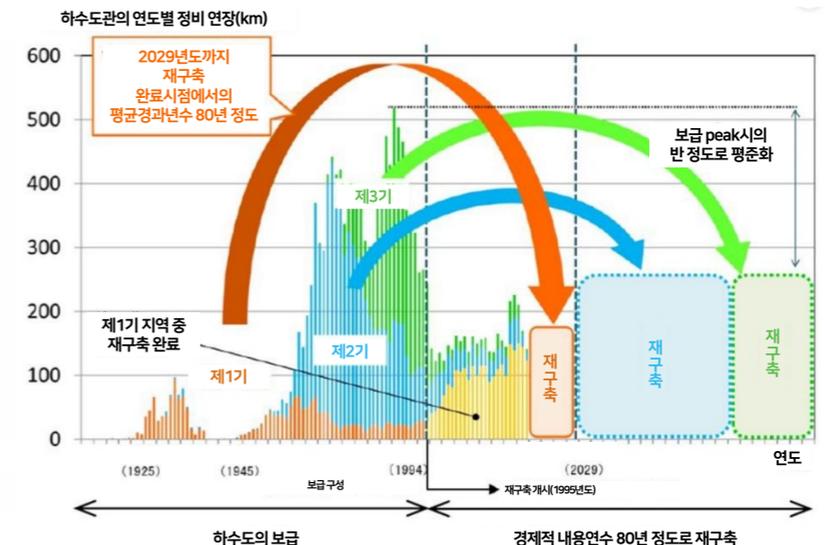
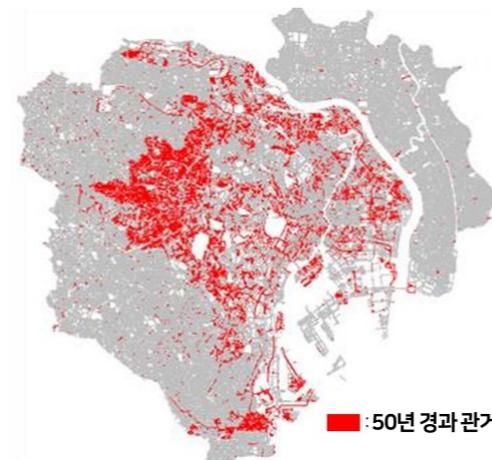
- 자산관리 기법 활용
- 경제적 내용연수를 80년으로 설정



(하수도연결관)



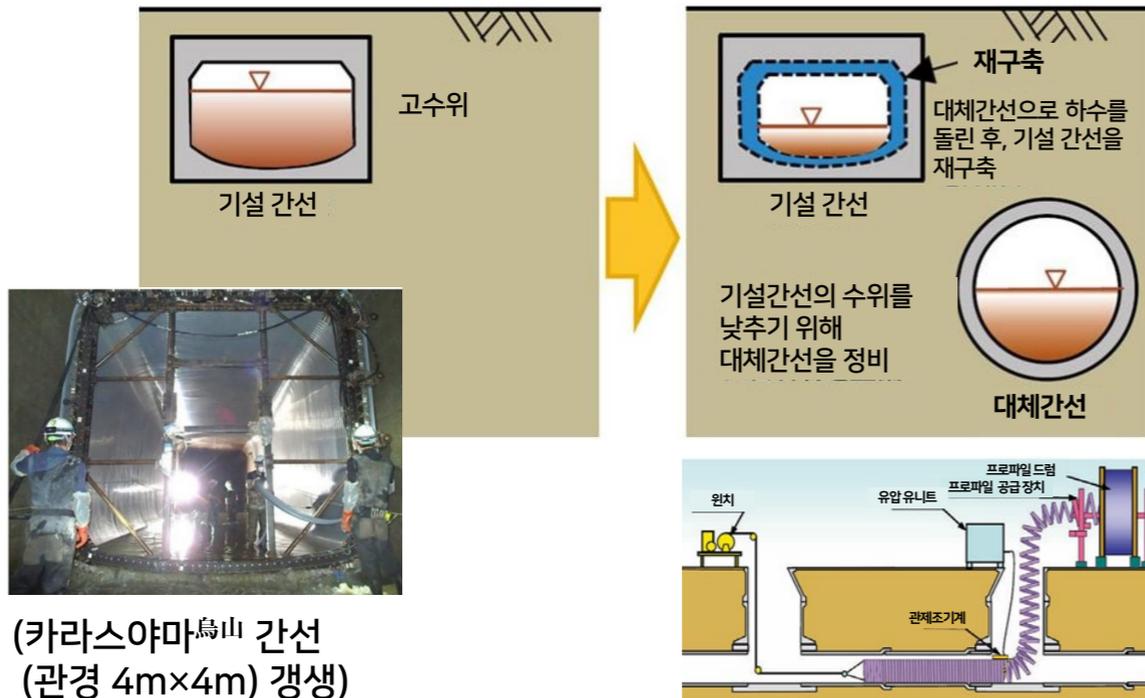
(연결관에 의한 함몰)



## 도쿄도의 하수도관 재구축

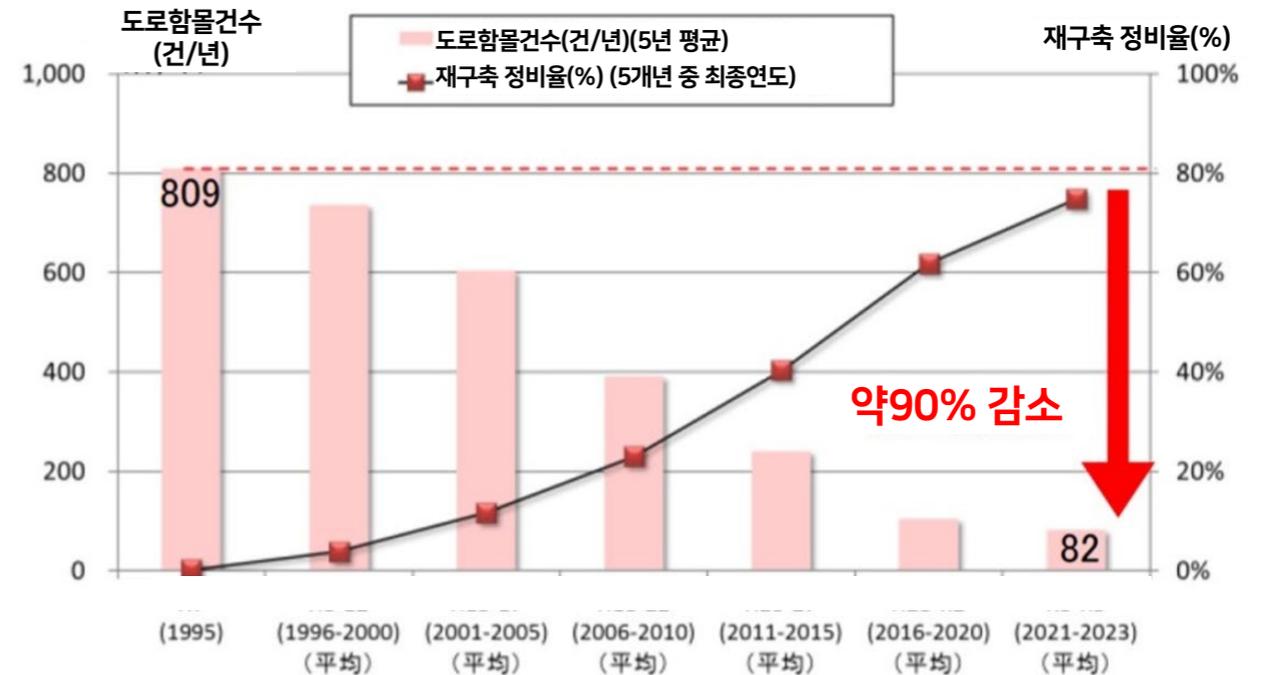
- 도로교통과 생활에의 영향 고려 굴착없는 갱생공법 선정
  - 도쿄도와 민간업체 공동개발 SPR공법 적용
  - 관경 25cm의 지선~5m의 간선 모두에 적용 가능
  - 하수도 수위가 높은 경우 대체간선을 활용

※ Spiral Pipe Renovation



(카라스야마 烏山 간선  
(관경 4m×4m) 갱생)

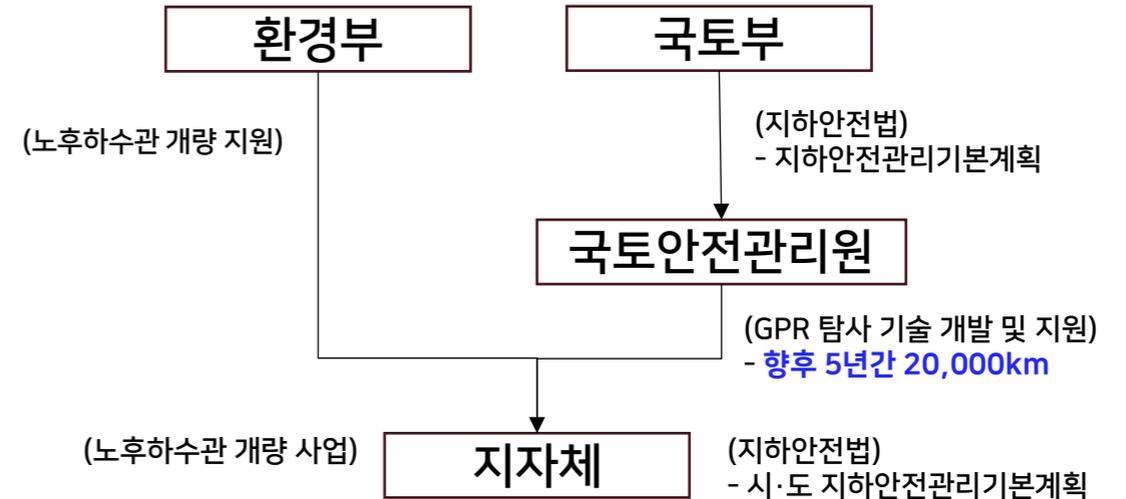
- 2023년말 기준 제1기 지역의 재구축 사업 80% 완료
  - 제1기 지역의 **도로함몰 건수 약90% 감소**



(제1기 재구축지역의 도로함몰 건수의 추이)

## 노후하수관 관련 침하 대책 이원화

- **국토부**, 지하안전법 등 지반침하 관련 정책 총괄
  - 국가지하안전관리기본계획 수립
  - 국토안전관리원을 통한 공동탐사 및 지자체 지원 등
- **환경부**, 침수피해 방지를 위한 하수도 정비에 중점
  - 단, 지반침하예방대책(2014)에 따라 1·2차 전국하수도 정밀조사 후 우선순위에 따른 정비사업 진행 중
  - 금년부터 3차 정밀조사 추진 예정 - 자료검색 불가



## 3D 통합지도 공동탐사 활용 효과 의문

- 3D 통합지도 100% 구축완료
  - 15개 특광역시('18), 전국162개 시군구('22)
  - 함몰발생 추정, 공동탐사 우선순위 설정 등 활용 미흡

위험도	구분 대상	연도별 탐사 연장 (단위 : km)		비고
		'25년도	'26년도 이후	
高 ↑	지자체 요청	1000	1,600	연간 2회 반복 조사
	굴착공사 현장	300	320	연간 2회 반복 조사 (이행실태 점검 DE등급)
	30년 이상 노후하수관	1,620	1,620	한국환경공단 협력 정밀조사(CCTV) 대상 지역
	상습침수지역 하수관	150	240	환경부 협력 하수도정비 중점관리지역
	집중강우 침수지역, 지반침하 사고 현장 지원 등	130	420	안전취약시기
中	합계	3,200	4,200	'26년도 국정과제 목표 달성

(국토안전관리원, GPR 탐사 지자체 지원 계획)

# 하수도 시설의 노후화 대책 - 국내

## 노후화 가속, 체계적 대책 필요

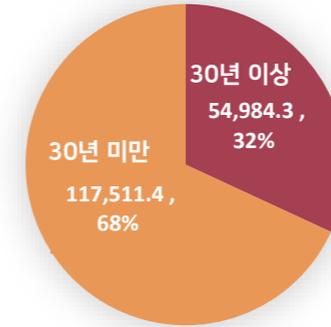
- 하수관로 노후화 가속(2023년말 환경부 통계)
  - 전국, 30년 이상 하수관로 32%(54,984.3km), 11.2%(국토부)
  - 서울, 30년 이상 하수관로 66%( 6,697.0km)

최근, 서울시 노후 하수관로 투자 확대 발표(2025.04월)

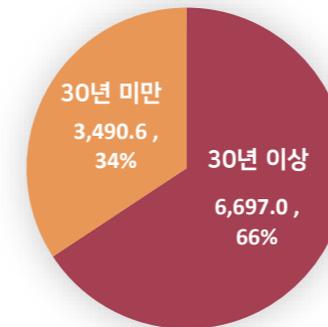
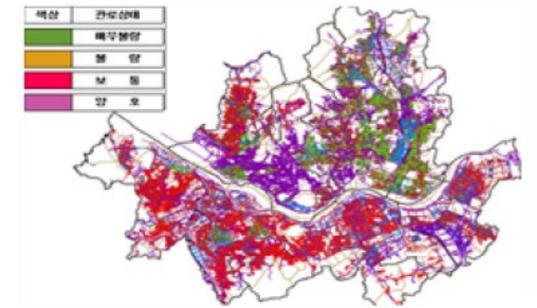
- 매년 노후하수관 교체 200km, 사업비 4,000억 투자계획 발표
- 30년 이상 노후관로 해소에 30년 이상 소요
  - 하수관로 교체만으로는 대처에 한계 - 공동 보수, 갱생공법 병행 필요

## 법령 보완 검토 필요

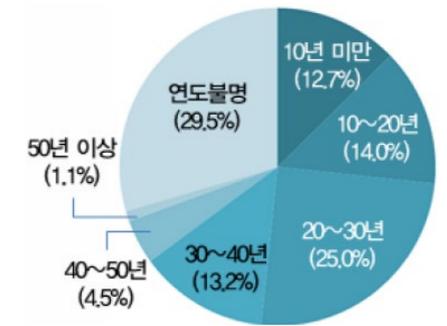
- 지하안전법 상 관리 대상 하수관
  - 직경 500mm 이상에 국한
- 하수도법 및 하수도유지관리기준 상
  - 지반침하 관련 조항 없음



(국내 하수관 현황 2023년)  
전체 연장: 172,495.km



(서울 하수관 현황 2023년)  
전체 연장: 10,187.6.km



(서울 하수관 현황 2013년)

구분	인프라 총조사	사용연수 조사현황	10년 미만		10년 이상~20년 미만		20년 이상~30년 미만		30년 이상	
			연장 (km)	비율 (%)	연장 (km)	비율 (%)	연장 (km)	비율 (%)	연장 (km)	비율 (%)
수도 (km)	146,806	27,057	1,153	4.3%	1,459	5.4%	11,697	43.2%	12,748	47.1%
하수도 (km)	162,408	36,329	7,724	21.3%	13,291	36.6%	11,253	31.0%	4,060	11.2%

(출처: 제2차 국가지하안전관리 기본계획)



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 06. 땀겨짐 대책

무엇을 어떻게 해야 할까요?

06-5. 굴착공사장 관리 강화

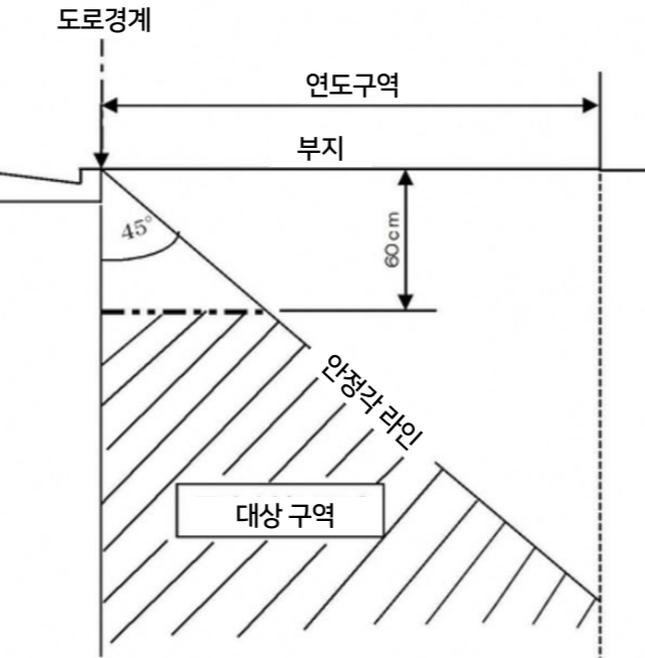
발 밑의 안전을 위해  
관산학민의 총력 대응 필요

# 굴착공사장 관리 - 일본

## 연도변 굴착공사 규제(도로법 제44조)

- 연도<sup>沿道</sup>구역 내 다음 굴착공사 시 지자체의 협의·승인 필요
  - **60cm 이상** 굴착 공사
  - 길가에서 45°의 안정각 라인 이하 굴착공사

전면도로폭	연도 구역
20m 이상	5m
6~20m 미만	3m
6m 미만	전면도로 폭의 1/2



(연도 구역)

## 요코하마<sup>横浜</sup>시, 조레로 굴착공사 관리

- 다음 굴착공사 시 공사 30일 전까지 사전 신고 의무화
  - 굴착 깊이 **4m 이상**이면서 면적이 500㎡ 이상 **굴착 공사**
  - 내경 **1.35m 이상**이면서 연장이 100m 이상 **터널공사**

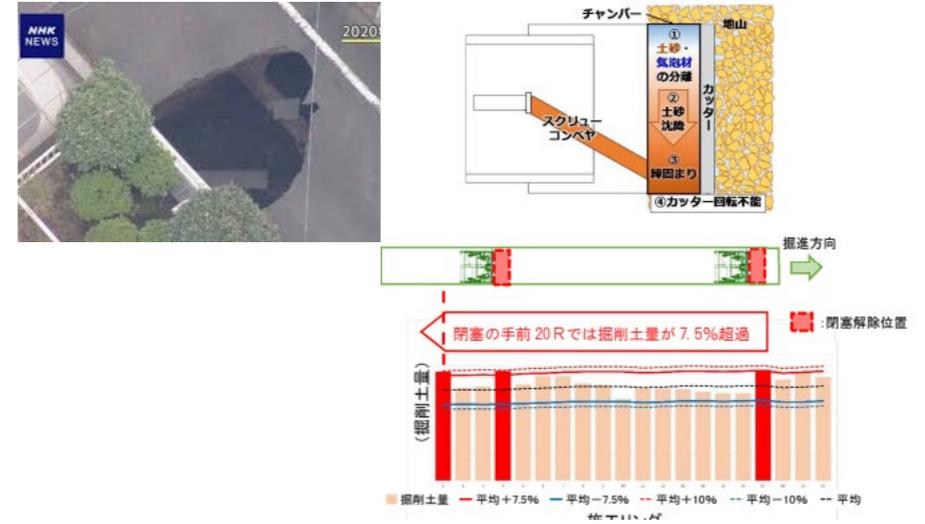
### 국내 - 【지하안전법】

- 지하안전영향평가 대상사업
  - 굴착 깊이 **20m 이상** 굴착 공사
  - 터널공사(산악·수저 터널 제외)
- 소규모지하안전영향평가 대상사업
  - 굴착 깊이 **10~20m 미만** 굴착공사
- ※ 서울시 굴토심의 - 건축위원회
  - 굴착 깊이 10m 이상

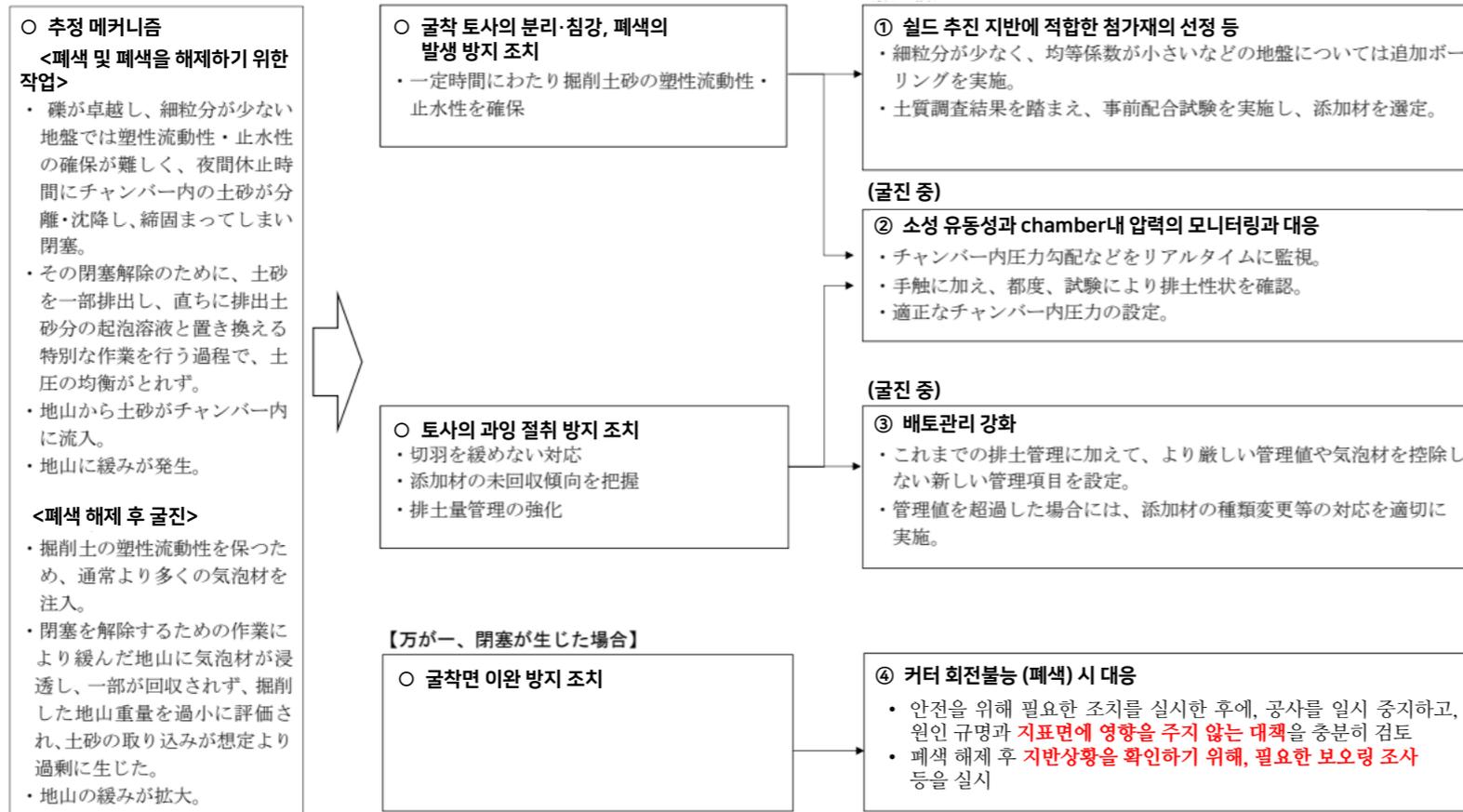
# 굴착공사장 관리 - 일본

## 사고 발생 공사별로 재발방지대책 수립·추진

- 국토교통성·지자체 등이 **사고원인 조사 및 재발방지대책 수립 및 시행**
- 별도의 '함몰 방지를 위한 **굴착공사 관리강화 방안**' 등 검색 안 됨



### 1. 함몰·공동의 추정 메커니즘을 고려한 터널 재발방지대책



- 2020.10.18, 도쿄도 조후 調布市 도로함몰
- 도쿄외곽순환도로(칸에츠 関越 ~ 토메이 東名) 동일본고속도로 시행(실드 TBM)
- 자갈이 세립분보다 많은 지반에서 야간에 작업 중지 중, 토사가 분리·침강 후 다져져 폐색이 되고, 실드기계의 커터 작동 불가
- 폐색부분 처리 과정에서 약액의 과다 주입 등으로 지반의 이완 및 과다 굴착으로 함몰
- 배토량 관리 등 재발방지대책 마련

# 굴착공사장 사고 정보의 공개 - 일본

## 사고 관련자료 상세 공개

The screenshot shows the top navigation bar of the Fukuoka City Subway website. It includes the logo '福岡市地下鉄', a search bar, and social media icons for Google Translate, a language selector, and links for '관광객의 경우' (For tourists), '문의' (Inquiry), and social media. Below this is a secondary menu with '항공권 및 요금 할인' (Airfare and fare discount), '기차표 온라인 구매' (Online train ticket purchase), '지하철 특가' (Subway special price), and '자주 묻는 질문' (Frequently asked questions). A main banner area contains '지하철 현재 위치' (Current subway location), '운영 정보' (Operating information) with the text '정상적으로 작동합니다.' (Operating normally), and buttons for '세부' (Details) and '지연된 인증서' (Delayed certificate).

홈 > 도로 함몰 사고

### 지하철 나나쿠마 선 연장 공사로 인한 도로 함몰 사고

A grid of five dark blue buttons with white text and right-pointing arrows, providing navigation for accident-related information:

- 사고의 개요와 설계 및 시공의 역사 (Overview of the accident and design and construction history)
- 사고 원인 조사 (Accident cause investigation)
- 보상에 대해 (About compensation)
- Q&A 문의 (Q&A inquiry)
- 도로 복구에 대해 (About road restoration)

• 사고개요, 설계 및 시공경위, 사고원인, 보상 등에 대해 일목요연하고 상세한 정보 제공 중



- 2016.11.08 04:25
- 후쿠오카시 하카다역(博多駅)
- 하부 시영지하철 나나쿠마선 연장 공사 시행 중 사고 (NATM공법)
- **사고관련 자료 시청 홈페이지에 일체 공개**

## 지하안전법에 의한 관리

- 굴착 깊이·공사종류에 따라 공사 전·중 안전관리
  - (소규모) **지하안전영향평가** 및 **착공 후 지하안전영향평가**

## 지방지하안전위원회 활성화 등

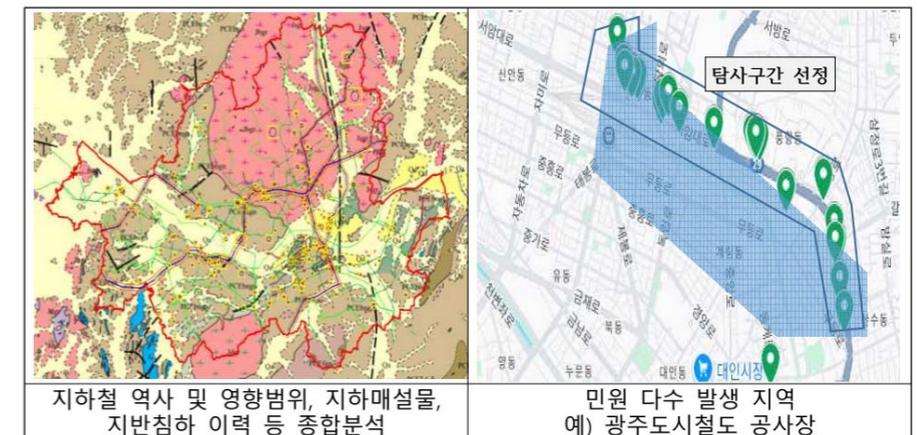
- 지방위원회 활성화
- 스마트계측 등 계측관리 강화

## 굴착공사장 공동탐사 강화 - 효과 의문

- **고위험지역 지정 공동탐사 주기 상향**
  - 일반지역(1회/5년)
  - 고위험지역(**2회/년**): 굴착공사장 등
- 국토부 선제적 관리 강화
  - (현재) 지자체 요청지역에 한해 지반탐사
  - (개정) 국토부 자체 지반탐사
- GPR 탐사장비 확충

구 분 (근거)	지하안전영향평가 (제14조)	소규모지하안전영향평가 (제23조)	사후지하안전영향평가 (제34조)
대상	굴착깊이 20m이상 굴착공사 또는 터널공사 포함사업	굴착깊이 10m이상 20m미만 굴착공사 포함사업	지하안전영향평가 대상사업
시기	사업계획의 인가 또는 승인전	사업계획의 인가 또는 승인전	굴착공사 착공후
평가항목	지하수 변화 영향, 지반안전성	지하수 변화 영향, 지반안전성	굴착공사의 적정성, 지하안전확보방안 이행여부
평가결과 활용	사업계획의 보정	사업계획의 보정	지하안전확보 및 재평가

(출처: 한국건설안전협회)



(탐사대상 선정기준 예시)

# 굴착공사장 관리 - 국내

## 국내 건설공사 대형사고 반복 발생 중

- **국내 건설생산시스템의 전반적 문제로 인식 전환 필요**
  - 지하굴착공사로 인한 땅꺼짐만의 문제가 아님
  - 과거 고도경제성장시기의 건설관행 및 시스템이 잔존하여 대형사고 반복

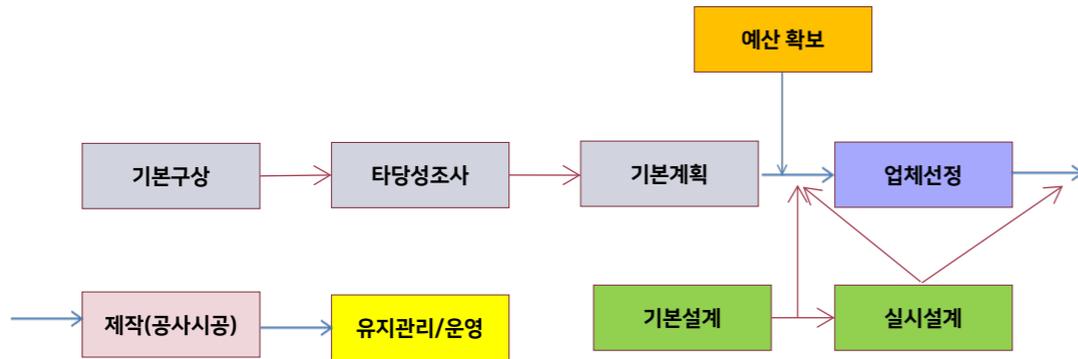
## 최근 주요 건설현장 사고 사례 - 굴착공사장 제외

- 2025.03.14 서울 동대문구 재개발현장 건물 철거 중 붕괴
- 2025.02.25 서울-세종고속도로 현장(안성) 교량 상판 붕괴
- 2024.04.30 시흥 고가차로 교량 상판 붕괴
- 2023.07.19 오송-청주간 도로공사 임시제방 붕괴(오송 참사)
- 2023.04.29 인천 검단 LH 아파트 지하주차장 붕괴
- 2022.01.11 광주 서구 화정아이파크 공사 중 일부 붕괴



# 건설생산시스템의 혁신

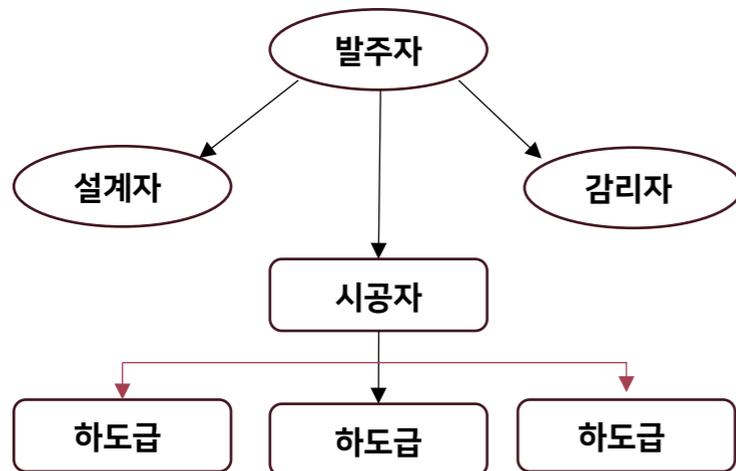
## 건설공사 생산 과정



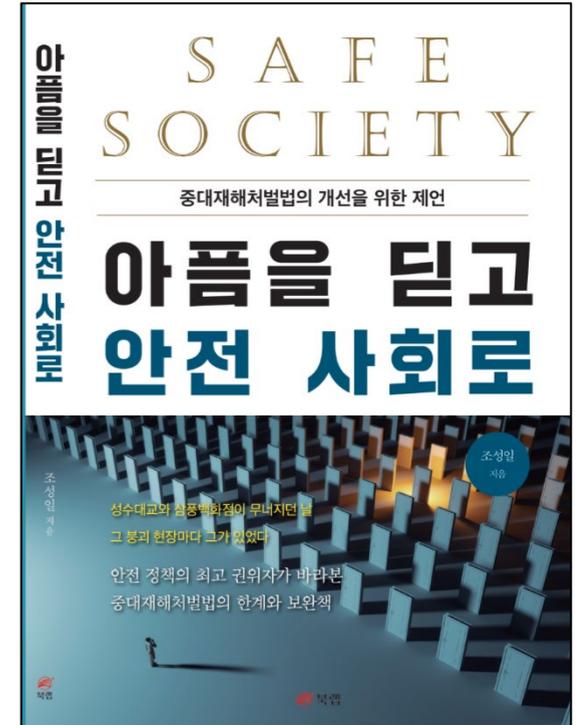
### (공사 중 사고 발생 요인)

- 인간이 자연을 극복하는 과정
- 휴먼 에러
- 시스템 운영의 부실
- 시스템의 미비·수준 미달

## 건설공사 생산 참여자



- 도급공사의 특성
- 우리나라 감리제도의 변천
- 공사 중 감리제도의 비교
- FIDIC 약관
- 일본의 공사감독
- 어중간한 국내감리, 책임만 커
- **가양대교 외국감리, 모트맥도날드사와의 경험**
- 경직된 국내의 감리원 운영방식을 탈피해야
- 감리비를 아끼면 총사업비가 줄어든다
- 글로벌 스탠다드로 세계를 향해
- **시공계획서와 시공상세도**
- 불법하도급과 감리
- 건설공사의 안전을 위해



- 2022.06월 발간
- 231~281쪽에 걸쳐  
건설생산시스템 개선 방향 제시

# 건설생산시스템의 개선 필요 사례

## 건설공사 발주 방식

발주청과 수주자의 업무 범위에 따라

1. 설계·시공 분리방식(DBB; Design-Bid-Build, Build Only)
2. 설계·시공 일괄방식(DB; Design Build)
3. EPC/턴키방식(Engineering-Procurement-Construction/Turn-Key)
4. 사업관리방식(CM; Construction Management) 등으로 구분

## 설계·시공 일괄방식 - 국내 지하철 등 터널공사 적용

- 설계와 시공을 단일 계약으로 시행: 시공자가 설계와 시공을 일괄 책임
    - 국내에서는 **턴키**로, 국제적으론 DB 방식으로 호칭
  - 장단점
    - 설계와 시공책임이 모두 수주자에게 귀속되어 발주자의 관리책임 감소
    - 설계변경이나 불확실성이 큰 사업에는 적용 곤란
- (미국에서는 설계의 불확실성이 큰 사업에는 일괄방식을 피하도록 제안)

## 인공지능(Gemini)에게 물어 봤더니...

### 1. 리스크의 불명확한 전가 및 잠재적 분쟁:

- DB 방식은 설계와 시공에 대한 리스크를 계약자(Design-Builder)에게 통합 전가하는 것을 목표로 합니다. 하지만 사업 초기 단계에 불확실한 요소(예: 지반 조건, 예상치 못한 환경 문제, 복잡한 규제 변화)가 너무 많으면, 계약자가 모든 잠재적 리스크를 정확하게 파악하고 가격에 반영하기 어렵습니다.

- 계약자가 과도한 리스크를 떠안게 될 경우, 이는 결국 공사비 상승이나 품질 저하로 이어지거나, 예상치 못한 상황 발생 시 **잦은 클레임과 분쟁**으로 비화될 가능성이 높습니다. 계약자는 예상치 못한 리스크에 대해 추가 비용을 요구하게 되고, 발주처는 이를 미리 파악하지 못해 당황할 수 있습니다.

### 2. 초기 사업비 예측의 어려움 및 예산 초과 위험:

- DB 방식은 상세 설계가 완료되기 전에 계약이 체결되므로, 불확실성이 높은 사업일수록 초기 사업비 예측의 정확도가 떨어집니다. 발주처는 불확실성을 포함한 높은 예비비나 비상 자금을 확보해야 하는데, 이는 예산 수립에 어려움을 줍니다.
- 예상치 못한 불확실한 요소가 현실화되면, 추가 공사비가 발생하고 이는 당초 계약 범위를 넘어서는 예산 초과로 이어질 위험이 큼니다.



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐

## 도시의 위기관리로서의 노면하 공동 대책 전략회의

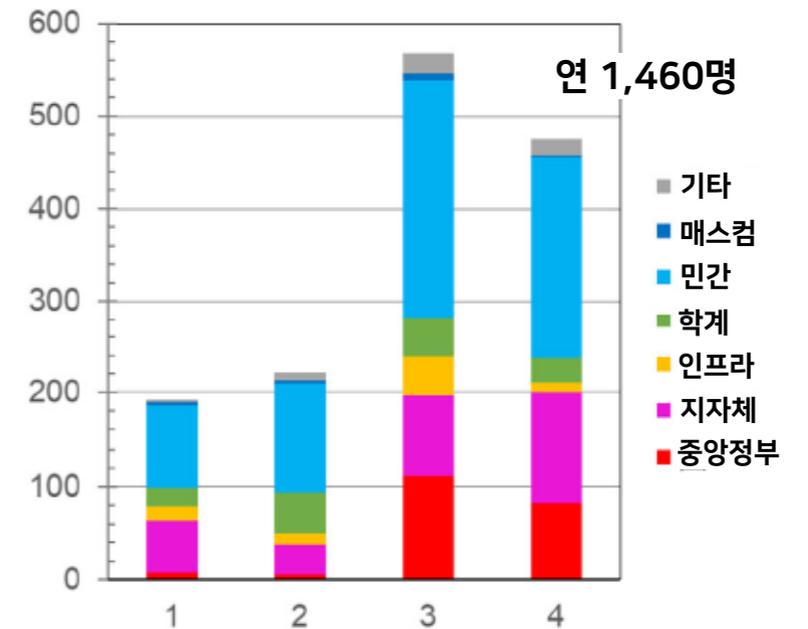
- 'All Japan으로 Resilience Japan 구축협의회', 17번 소위원회로 활동
  - 2016.11월 하카다<sup>博多</sup>역전 함몰을 계기로, 지진 시 등을 대비해 방재의 관점에서 노면 하 공동 문제를 고찰
  - 2017.08~2018.05월 중 3회에 걸쳐 전략회의 개최



2019.11월 사이타마 대학구내 폴스케일시험도로

## 노면 하 공동 대책 연락회

- 2019.11~2023.1월까지 4회에 걸쳐 개최
  - 주최: 도쿄대학 OHOW(One Health, One World 협력연구기구)
  - 후원: 국토교통성 관동지방정비국
- 과제 **선진도시의 식견·데이터·경험의 공유·집약·활용을 위한 플랫폼 구축**
- 전국의 **함몰대책에 관한 시설관리자 간의 협력 강화**
- 제3회 연락회 시 '공중과 지표에서의 인프라 진단 연구회(空から地表からインフラを診る研究会)' 구성



노면 하 공동 대책 연락회 심포지엄 참가자 추이

# 도시간 정보 공유 및 협력 - 일본

## 야시오<sup>八潮</sup>시 도로함몰 관련 전문가 위원회

- '2025.01.28일 발생한 사이타마현 야시오시 함몰사고를 계기로 위원회 운영
  - 국토교통성 주관, 2025.05.16일 제6회 위원회 개최
  - 주요 논의 사항
    - 1) 하수도시스템의 열화 지속에 따른 유사사고 재발 방지 대책
    - 2) 대규모 하수시스템의 점검방법 검토
    - 3) 대규모 도로함몰의 원인이 될 수 있는 지하관로시설의 관리방법 등
- 위원회가 국토교통성에 제2차 제언 제시 - 제5차 위원회
  - 사사고터널 사고 2012년 이후 보이는 시설물에 집중, 보이지 않는 곳에 위험이 잠재하고 있다는 문제 제기
  - 지자체의 기술자 부족을 고려한 새로운 협력체제 『모범사례 따라하기 人の群マネ』 제안: 지자체 기술직원 간 협력 강화
  - 단계적 상하수도 사용료 개정: 노후 시설 갱신을 위한 재원 마련
  - 관로 내부의 위험하고 가혹한 작업환경 고려, 무인화·성력화<sup>省力化</sup>를 통한 DX 추진



- (현황) 지자체·시공사 담당자 등 **지하안전관리 실무자를 대상으로** 관련 법·제도, 사고사례 등에 대한 **교육이 미비**
  - 필수교육(신규 70시간, 보수 21시간) 내 지하안전평가 담당자의 **현장교육 부족**
  - ☞ 담당자 대상으로 **현장중심 교육과정 추가 및 맞춤형 컨설팅 실시**

- (교육) **지반침하 사고 대응 매뉴얼**을 제작(~7월) 등을 통한 **교육자료 보완, 지하안전 릴레이 설명회\***(6회) 실시(국토안전관리원, '25.9~)

\* (1차) 중부권 → (2~3차) 수도권 → (4차) 강원 → (5차) 영남 → (6차) 호남

\*\* 지하안전정보체계(JIS)에 온라인 교육 플랫폼을 구축하여 맞춤형 콘텐츠 개발·제공

- 「지하안전관리 업무지침」 개정을 통해 지하안전평가 담당자 교육 과정 내용에 **현장중심 교육 비중 확대**

- (컨설팅) **지반탐사 업체, 굴착공사 관계자** 등을 대상으로 탐사기술 전수·표준매뉴얼·지적사항 보완 방법 등 **맞춤형 컨설팅 실시**('25.下)

## 오픈 이노베이션 방식 도입 적극 검토 필요

- 국토부 중심으로 국토안전관리원, 지자체, 연구기관, 학계, 산업계 등이 참여
- **경험·지식·데이터·지혜의 공개 및 공유**를 통한 기술의 신속한 향상 도모
- 도로인프라관리를 위한 얼라이언스 참조

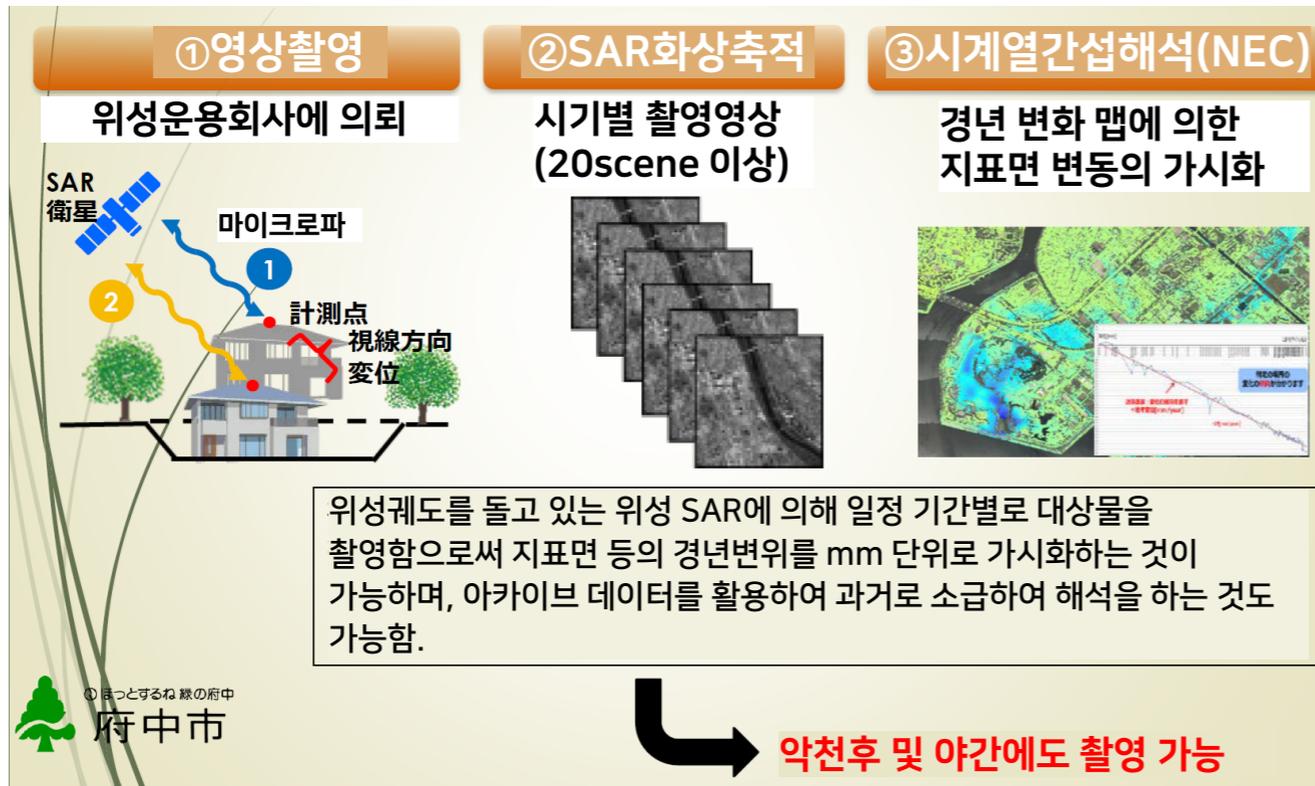


새소식		
얼라이언스	기술공유마당	보도소식
2025년 제1차 기술공유마당 개최 계획	2024년 제2차 기술공유마당 개최 결과	
본 자료는 혁신적인 아이디어와 기술을 보유한 민간 기업들과의 만남의 장을 마련하여 기술정보 기회를 제공하기 위한 2025년도 제1차 기술공유마당 계획에 관한 내용입니다. (2...)	본 자료는 2024년 12월 20일에 실시한 2024년 제2차 기술공유마당 개최 결과에 관한 내용입니다. 자세한 내용은 아래*기술정보 사전예약제 웹페이지에서 확인 하...	
2025.05.08	2025.05.08	

## 합성개구<sup>合成開口</sup>레이더(SAR) 활용을 통한 인프라시설 변위 파악 - 일본

SAR: Synthetic Aperture Radar

- 일본 도쿄도 후추시<sup>府中市</sup> 시범 적용 (2022년)
  - 노면 하 공동조사결과와 SAR 시계열 간섭해석의 비교에 의한 실무적용 가능성 검토
- 도쿄대학 SAR의 도로토구조물의 유지관리에 활용 매뉴얼(안) 작성



### 도심지 지반침하·싱크홀 리스크 대응 심포지움

2025. 6. 18.(수) 13:00-18:00  
과학기술컨벤션센터 대회의실2(역삼동 과총회관, 지하1층)

주관 (사)한국지반공학회, (사)한국토질및기초기술사회

인공위성 원격탐사 활용 광역지역 도심지  
지반침하 위험 탐지  
남부현(경희대학교 교수)

(최근 국내 학회 심포지움 발표자료)

# 향후 과제

---

- **관산학민 공동 협의체 구성**
- 중앙정부(국토부, 환경부, 행안부) 및 지자체 간 협력 체계 구축
  - **데이터, 지식, 경험, 지혜, 대책의 공개 및 공유**
- 땅꺼짐 데이터의 축적 확대
  - 1m 이하의 소규모 땅꺼짐 포함 관리
- 땅꺼짐 지도의 시범 제작 및 단계별 확대
- 함몰 원인별 대책 강구
  - **노후하수관의 장수명화 및 갱신 추진** 등 매설물 관리 강화
  - **굴착공사장 관리 강화**: 건설생산시스템의 개선 포함
- **공동탐사 기술의 향상**
  - 탐사업체 선정 시 검지율, 적중률 등 역량에 따른 경쟁제도 도입 시행
  - 탐사장비 및 판독역량의 개선
- 공동과 함몰의 발생 메커니즘 지속 연구 등



발 밑이 위험해요!

땅 꺼짐