건설공사 사고사례 공유를 위한 Webinar

일 시 : 2022. 12. 29(목) 14:00~16:00

국토교통부 국토안전관리원

양양군 땅꺼짐 사고조사보고

2022년 12월

국토교통부 중앙지하사고조사위원회

Contents

01 개 요

02 사고발생 현황

03 사고 원인 분석

04 재발방지 대책

국토교통부

공사 개요

- ▶ 공사명 : 양양 ㅇㅇ 생활숙박시설 신축공사
- ▶ 발주 : ㅇㅇ신탁㈜, ㈜ㅁㅁㅁ ▶ 시공 : ㈜ㅇㅇEnc ▶ 감리 : ㅁㅁ Eng. ▶ 지안평 : ㅇㅇE&C
- ▶ 공사규모 : 지하6층, 지상20층 숙박시설 신축(RC조, 연면적 21,024.92m²)
- ▶ 공사기간 : 2021.06.08 ~ 2024.02.01 (약 32개월)
- ▶ 흙막이 벽체 공법 : C.I.P공법(∅600mm, 선단 암반정착)
- ▶ 흙막이 지지구조 : 합성버팀보공법(□-450×450×6)
- ▶ 차수공법 : S.C.W-ES공법(∅550mm, C.T.C 450), 추가보강 J.S.P, S.G.R, CSS공법

사고 개요

▶ 위 치 : 강원도 양양군 “양양 ㅇㅇ 생활형 숙박시설 신축공사” 현장 주변
(강원도 양양군 강현면 해맞이길, 낙산해수욕장 CU 편의점 인근)

▶ 사고유형 : 땅꺼짐

▶ 사고전개

2021년 12월 ~ 2022년 5월
- 지하수 및 토사 유출로 땅꺼짐 30회 발생
- 차수작업 등 보수·보강작업 지속적으로 진행

2022년 5월 중순
- 공사 재개

2022년 7월 말
- 굴착완료(최대 굴착고 GL.-27.6m)
- 굴착 바닥면 정리 및 집수정 설치 진행

2022년 8월1일~2일
- 우천으로 공사 중지

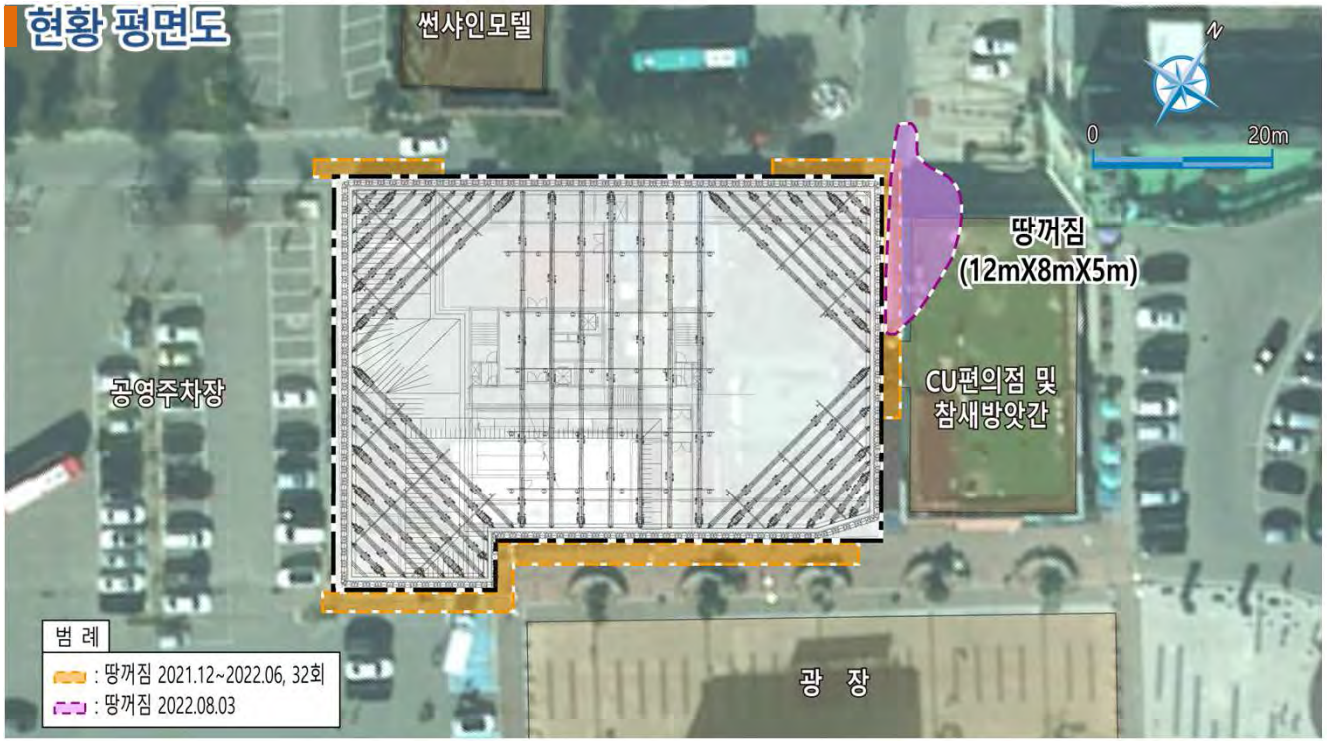
2022년 8월 3일 05:40경
- ‘땅땅땅’ 소리 및 물소리 크게 발생
- 지하수와 모래가 혼합된 상태로 현장 내 유입되어 굴착 바닥면에 적치

굴착 배면에 인접한 건축물 하부 땅꺼짐 발생
- 굴착 배면에 인접한 CU편의점 하부 땅꺼짐 발생
- 건축물 일부가 함몰된 지반으로 붕괴 (전체 건축물 1/3, 인명피해 없음)

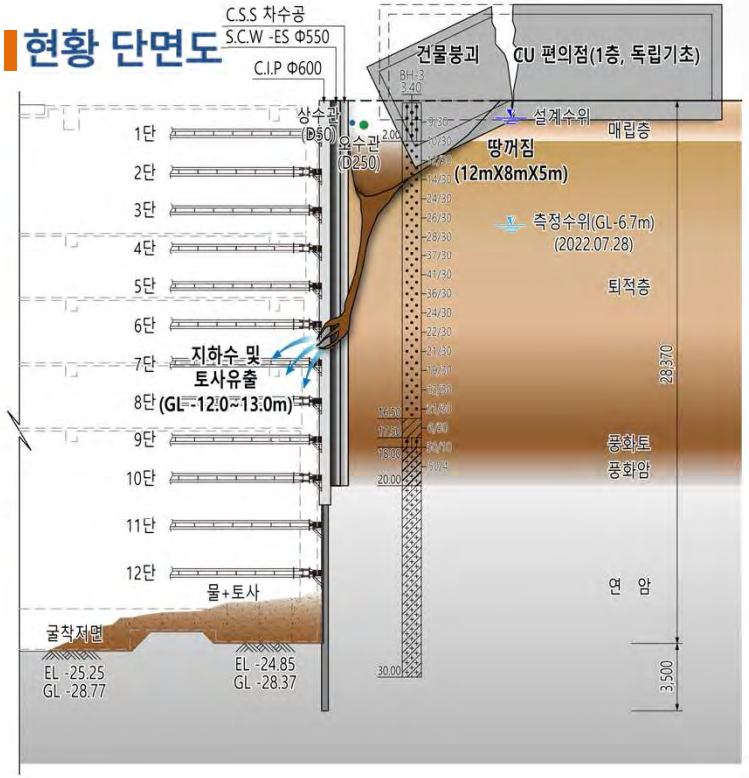
국토교통부

사고발생 현황

현황 평면도



현황 단면도



지하수 유출(GL-12~-13m)

지하수 및 토사 적치(06시 경)

CU 편의점 하부 땅꺼짐(06시37분)

건물 일부 붕괴(06시 45분)

3. 사고원인 분석

국토교통부

사고조사 분석 및 방법

▪ **2022년 8월 3일 땅꺼짐 사고에 대한 *전반적인 파악과 원인 분석***

- 2022년 8월 4일부터 10월 3일까지 **2개월간 활동**
- 자료조사, 현장조사, 지하매설물 검토, 지하수 특성 및 조위 영향
- 흙막이 설계변경, 주열식 벽체 및 차수벽 시공 현황, 계측결과 검토
- 사업추진 현황 및 건축물 인허가 절차, 지하안전평가 등 검토

사 고
원 인
규 명

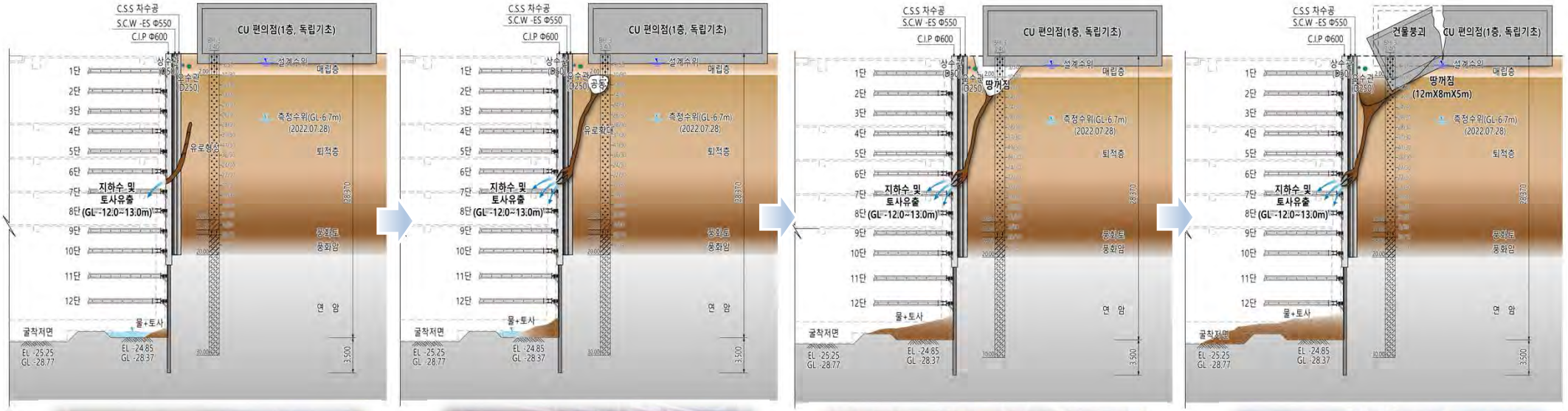
국토교통부

사고원인 분석

취약한 가시설 벽체 배면에 유로 형성 → 유로를 따라 유량 집중되어 흙입자 이탈이 상부 진전

흙입자 이탈 더욱 가속화 되어 지반공동 형성 → 유로를 따라 공동 발달

CU 편의점 하부 땅꺼짐 발생 → CU 편의점 건물 일부(1/3) 붕괴



지하수 유출(유로형성)

토립자 유출로 공동 발생

건물 기초 하부 땅꺼짐

CU 편의점 건물 일부 붕괴

3. 사고원인 분석

국토교통부

주열식 벽체(C.I.P) 구근형성 미흡 및 차수벽(S.C.W) 품질저하

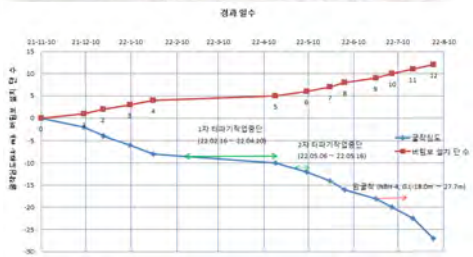
- 가설 흙막이 지지구조(합성버팀보)와 차수공법(S.C.W) 시공사 설계 변경 시공
- 흙막이 벽체 콘크리트 재료분리로 인한 주열식 벽체(C.I.P)의 구근형성 미흡
- 지하수위가 높고 유동량이 많은 포화된 모래지반 차수벽(S.C.W) 시공 및 품질관리 미흡

터파기 중 지하수 및 토사 유출에 따른 지반 연약화

- 지하수와 토립자 유출에 따른 지반 연약화와 배면 지반 유로 발달
- 추가 차수보강 그라우팅 품질확보 곤란, 시간 경과에 따른 품질저하 발생

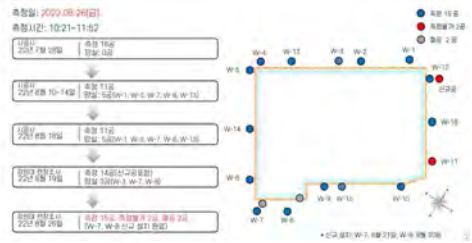
공기지연에 따른 급속시공

- 추가 차수보강공사로 인한 공기지연 → 공기회복을 위해 터파기 6~7월 집중수행
- 암발파로 인한 진동영향으로 주열식 벽체(C.I.P) 및 차수벽(S.C.W) 추가적인 불안정 유발



착공후지하안전조사 및 계측관리 미흡

- 터파기 중 땅꺼짐 사고에 대한 조치 필요 사실 등 공사현황 미보고
- 땅꺼짐 이후 계측기(지하수위계 등) 손·망실 확인 → 계측관리 소홀 및 계측 신뢰성 낮음



터파기 초기부터 인지하여 보강공사 수행, 지반 연약화와 유로 발달에 대응 역부족

4. 재발방지 대책

국토교통부

주변지역 안전확보	✓ 가설 흙막이 벽체 및 차수벽의 품질상태 전수 조사(시험시공 및 품질시험) ✓ 강성이 크고 차수성 높은 공법 적용(예 : 2열 C.I.P, 지하연속벽 등) ✓ 시공사, 감리사, 계측사 등 1회/월 이상 계측기 상태 합동점검 ✓ 시공현장 안전확보 방안 이행 여부 매 분기별 관계기관 합동 점검
설계 및 시공관련	✓ 해안가·매립지 인근 공사현장 흙막이 벽체 및 차수공법 설계기준 강화 ✓ 연약지반 가설 흙막이 벽체 및 차수공법 적용 절차 표준화 ✓ 땅꺼짐 위험지역에 대한 차수공법 등 설계변경 절차 신설(외부 전문가 자문 등)
지하매설물	✓ 지하매설물(상수관로, 하수관로 등) 영향 검토 ✓ 바닷가 인근 관종(상하수) 선정시 염분으로 인한 부식 검토 ✓ 하수관로 CCTV 조사시 영상분석 전문가 필참
인접구조물	✓ 터파기 공사에 따른 인근 노후 구조물의 안정성 검토 ✓ 주변 지장물 및 30년 이상 건축물의 안전진단 필수
계측관리 개선	✓ 중소규모 건설현장 계측관리 체계 개선 ✓ 취약구간 스마트 계측관리 기술 도입
인허가 관련	✓ 인허가 절차, 설계변경 절차, 안전점검 제도 및 체계 개선
정보공유 및 보고체계	✓ 중소규모 땅꺼짐 발생시 지하안전정보시스템 활용(www.jis.go.kr) 공유

경청해 주셔서 감사합니다.

국토교통부

□ 고지형도 하도 검토

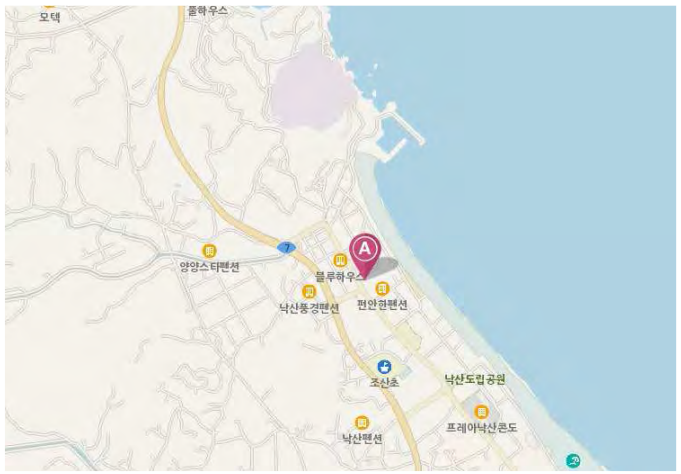
▶ 고지형도 분석 결과 1970~1990년대에 사업부지 인근에 **하도가 위치**한 것으로 확인됨

▶ 본 현장이 하도 인근에 위치하여 **제4기 퇴적물(sand-silt)이 해안가를 따라 넓게 분포**

<1910년대>

<1970년대>

<1990년대>



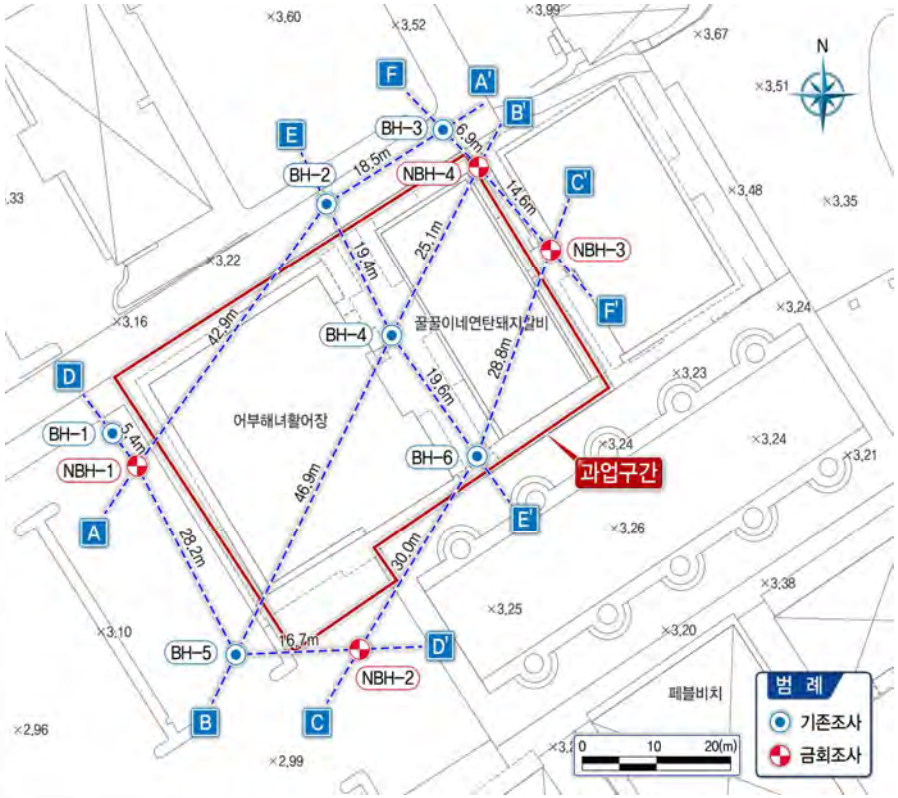
<2020년대>

국토교통부

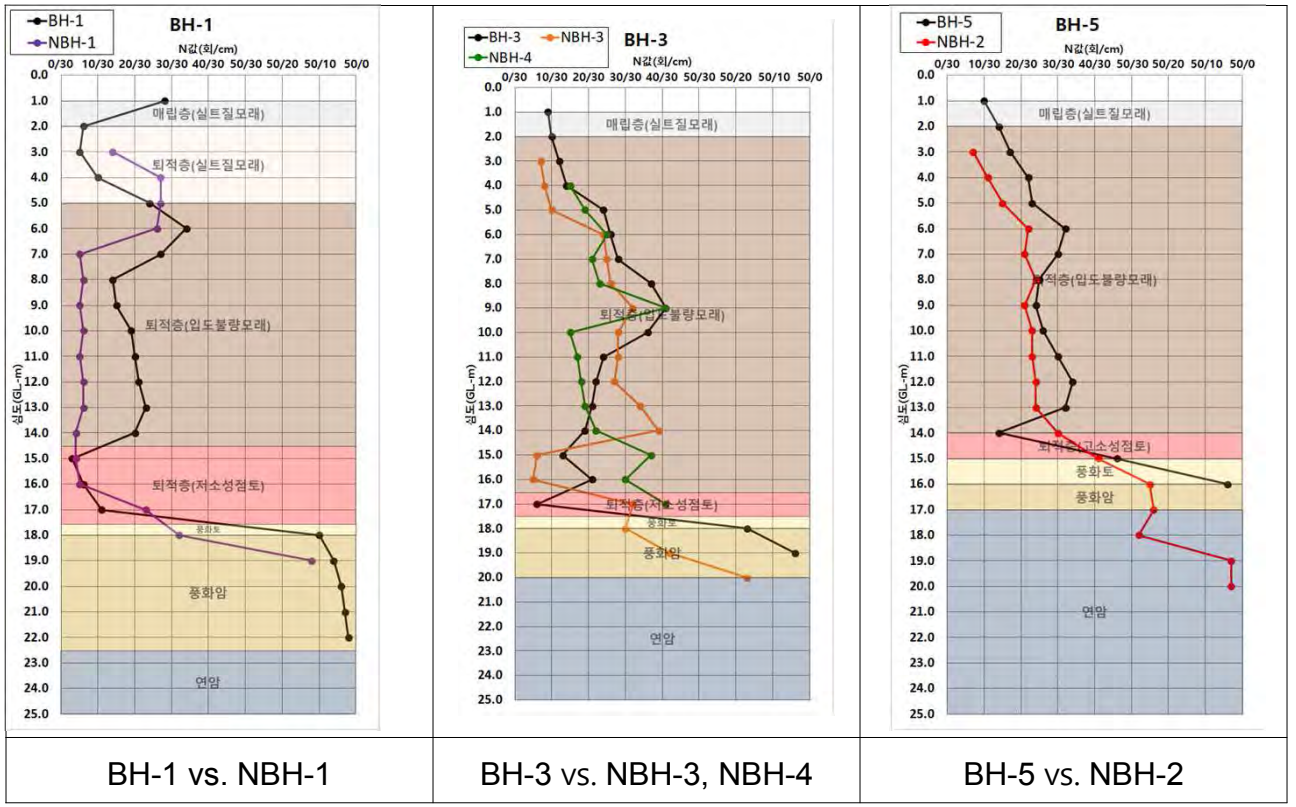
□ 지반조사결과 검토

▶ 2020년 7월 시추조사 결과와 2022년 6월 결과를 비교시 **퇴적층 N값이 저하** 되는 경향 확인

▶ 지반굴착시 퇴적층 상부구간에서 **지하수 유출로 인한 토립자 유실**이 발생하여 흙막이 가시설 **배면지반이 지반굴착 이전보다 이완되어 느슨해진 상태** 확인



<시추조사 위치도(2020.07, 2022.06)>



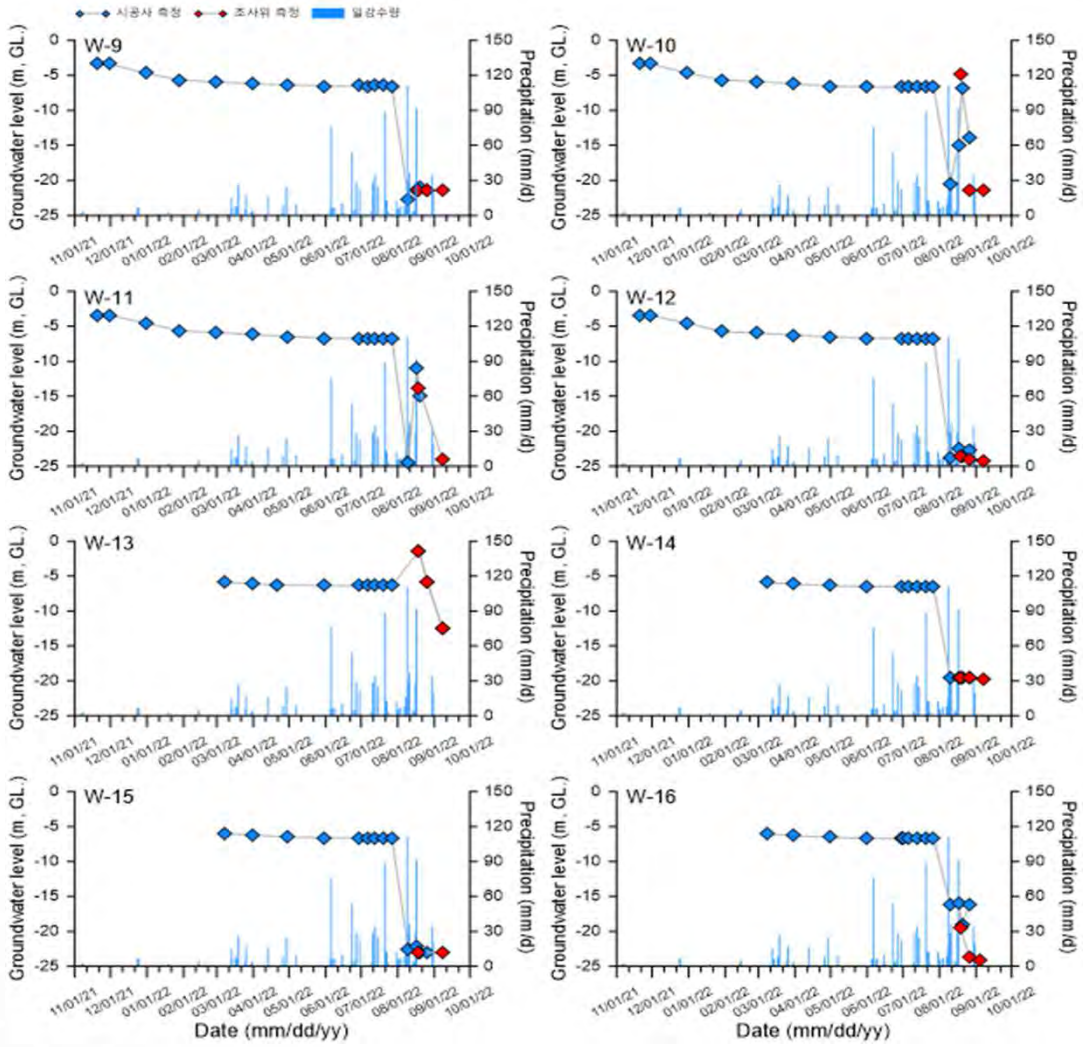
BH-1 vs. NBH-1	BH-3 vs. NBH-3, NBH-4	BH-5 vs. NBH-2

<심도별 표준관입시험 결과 N치 비교>

국토교통부

□ 지하수 및 해수 염분 영향

▶ 터파기 인근 지하수위 변화



✓ 평균 지하수위(계측 월간보고서 13회차*, 14회차**)

터파기 전	땅꺼짐 전	땅꺼짐 후
-2.33 m(GL.)	-6.37 m(GL.)	-23.65 m(GL.)

✓ W-11(땅꺼짐 지점 인근 계측공)

2022.07.28		2022.08.10
-6.71 m(GL.)	-15.88 m 하강	-22.59 m(GL.)

✓ 지하수위 하강 원인

- 흙막이 차수벽의 결함으로 인해 세립자와 지하수가 유출되어 터파기 인근 지하수위가 급격히 하강

=> 지속적으로 터파기 내부로 다량의 지하수가 유출

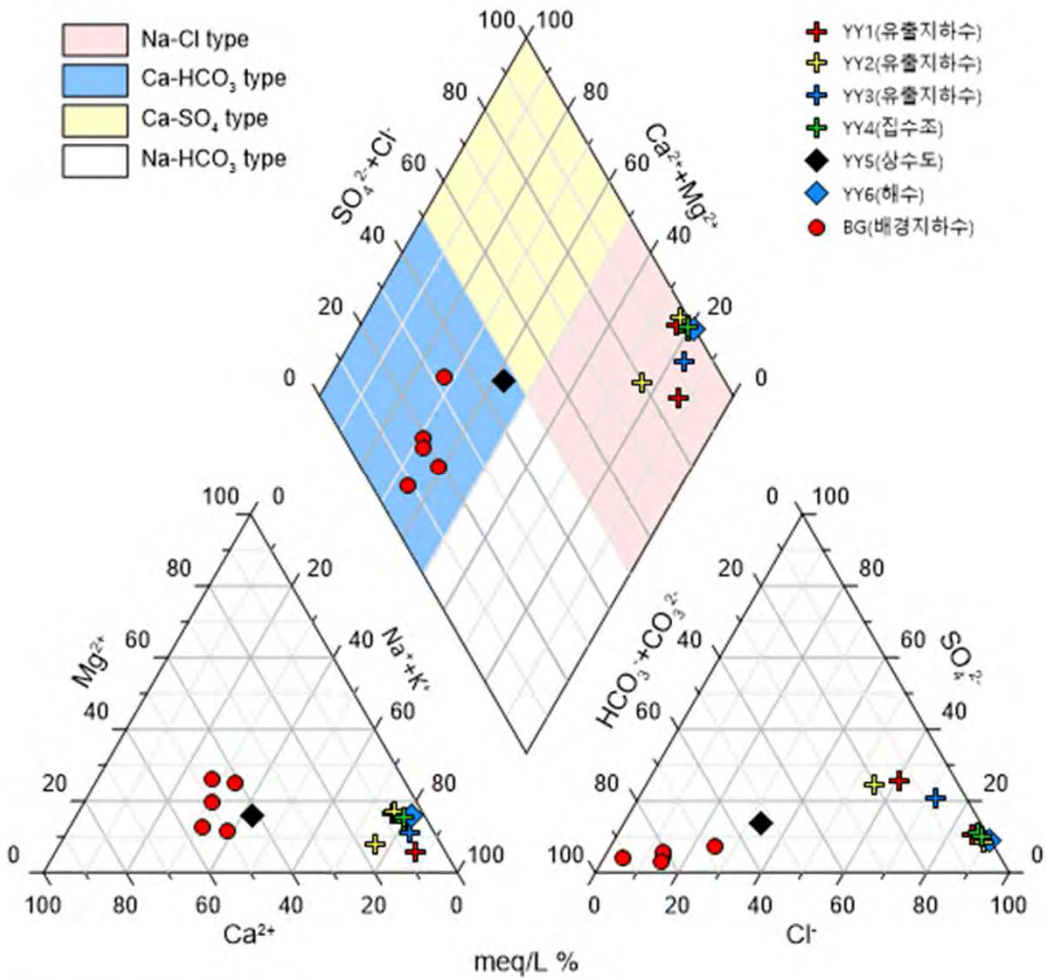
2022.08.31. 유출량: 880m³(지반침하관련업무진행현황)

*13회차: 2021년 11월 20일~2022년 07월 28일

**14회차: 2022년 08월 10일~2022년 08월 31일

□ 지하수 및 해수 염분 영향

▶ 터파기 내부로 유출되는 지하수와 해수, 상수도 및 배경지하수 수질



✓ 현장 수질

- 터파기 내부 지하수(1차 조사의 YY-2 제외)에서 담수와 해수가 혼합된 기수의 성질을 나타남(2,000μS/cm 이상)

✓ 화학 조성

- Na^+와 Cl^-이 75% 이상 우세하며, Na-Cl 유형의 수질
  (담수 지하수는 Ca^{2+}와 HCO_3^-가 우세)
  기수 Cl^- 기준: 400mg/L 이상

	구분	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Br^-
	1차 조사: 2022년 8월 5일									
지하수	YY-1	1141.0	136.3	102.7	75.2	1,931.7	148.9	325.4	2.5	7.7
지하수	YY-2	189.8	11.4	37.3	16.1	226.9	141.4	138.5	7.1	1.2
지하수	YY-3	764.3	56.4	50.7	47.8	1,017.8	171.9	407.7	12.0	4.1
지하수	YY-4	2,043.0	203.1	138.5	123.7	3,817.9	162.3	691.0	3.5	14.3
상수도	YY-5	8.6	1.9	8.0	1.3	10.3	27.7	5.8	4.6	*N.D.
해수	YY-6	9,356.0	1039.8	322.6	501.2	17,763.1	129.9	2,488.5	14.2	67.7
	2차 조사: 2022년 8월 9일									
지하수	YY-1	380.2	14.2	28.5	15.8	413.3	150.2	236.6	7.2	*N.D.
지하수	YY-2	1,617.2	196.6	135.6	68.1	3,046.3	128.1	413.6	6.9	9.9
지하수	YY-4	2,844.0	302.8	177.7	107.0	4,908.3	157.5	764.5	5.6	16.7

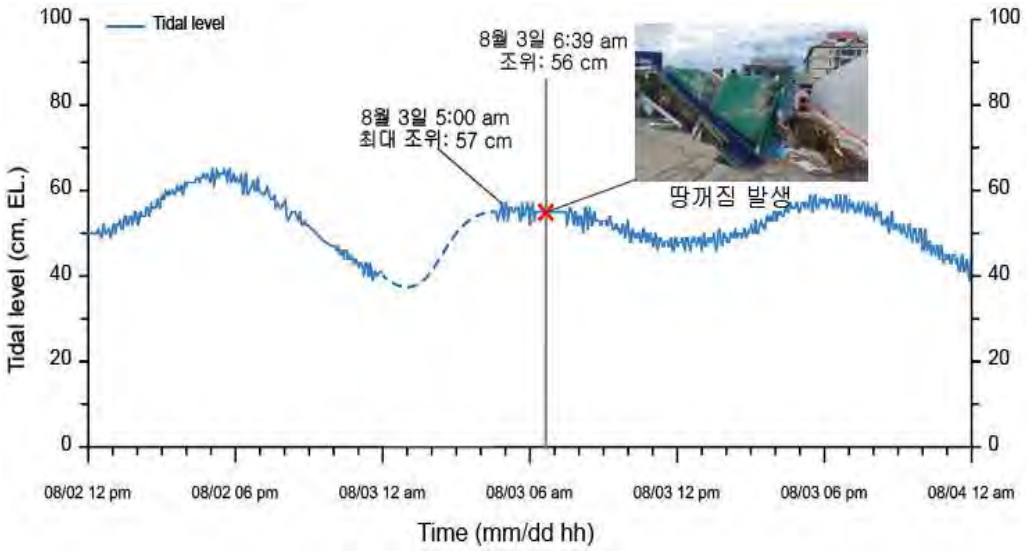
*N.D.: Not detected

국토교통부

□ 지하수 및 해수 염분 영향

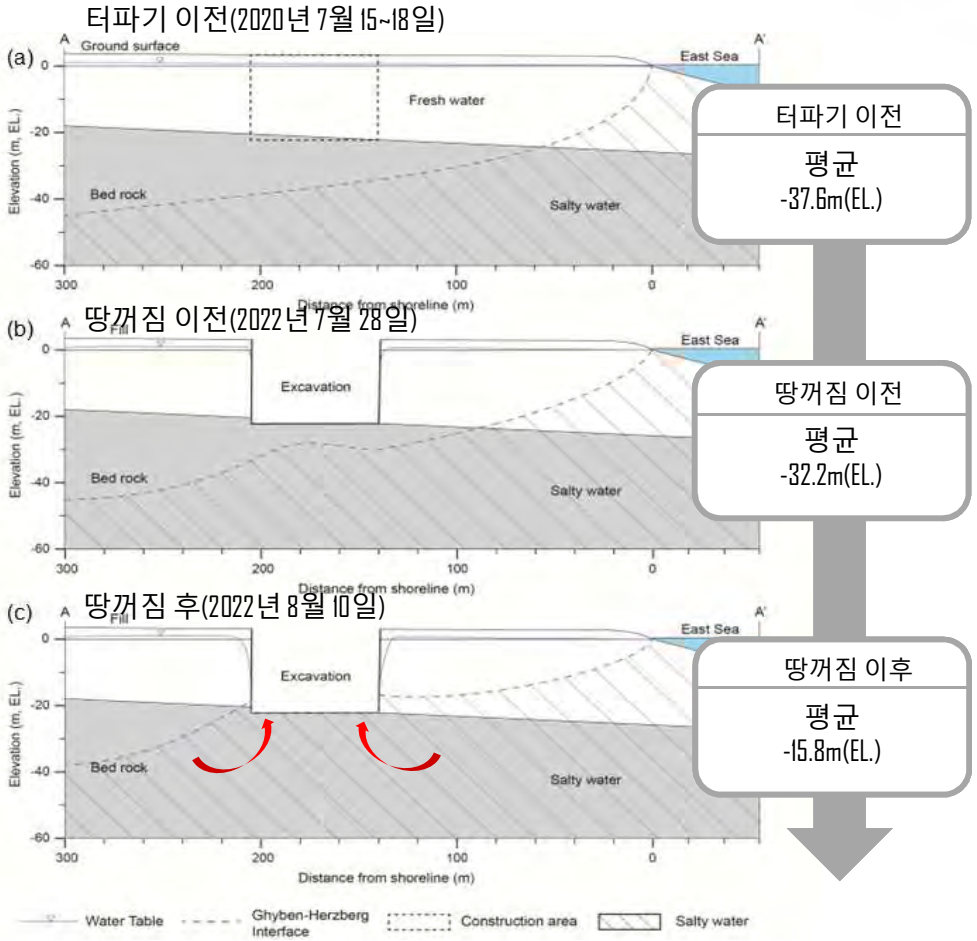
▶ 터파기 인근 지하수에 미치는 해수 영향

✓ 해수면 변동



- 땅꺼짐 발생 당시 조위: 56cm(EL.)
- 2021년 조위 변동: 평균 32cm(변동 범위: -9~+78cm(EL.))
- 조위 변동에 따라 터파기 인근 지하수에 <u>최대 +67cm 수리수두 증가</u> (2021년 연간 조위 변동 기준)

✓ 터파기 부지 아래의 해수-담수 혼합대 깊이 변화

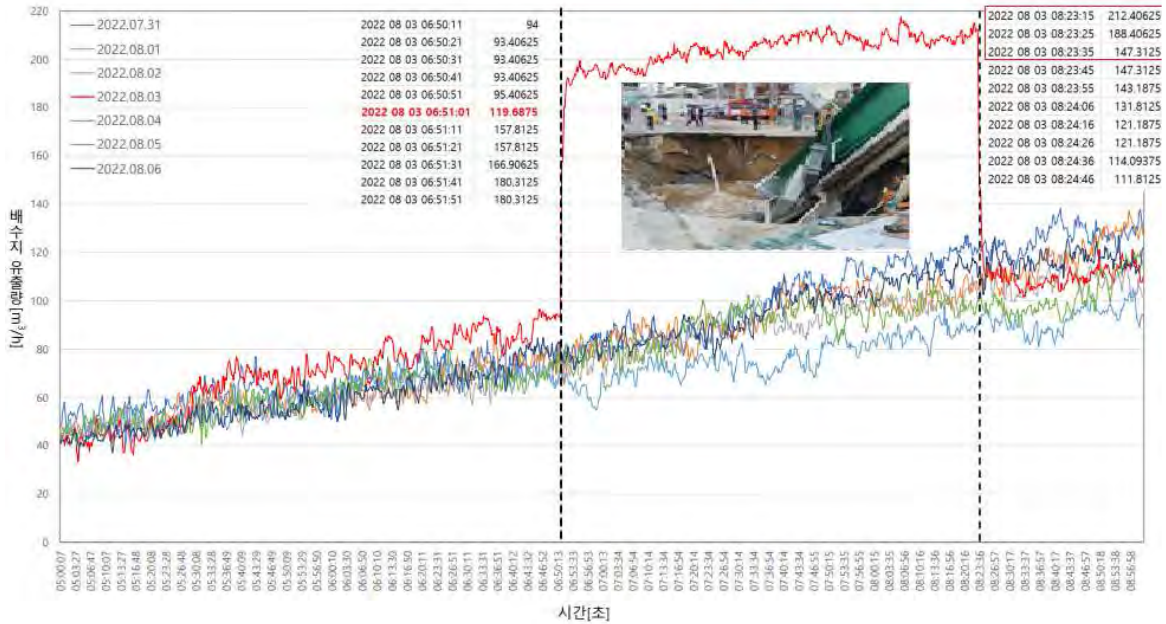


□ 지하매설물(상수관, 우수관, 오수관, 통신, 전기) 관련

▶ 현장조사, 관계자 청문 을 통해 CU 편의점붕괴와 관련하여 상수도관이 파열되어 다량의 용수가 흘러나왔던 상황을 고려하여, 상수도관과 CU 편의점 붕괴사고와 관련하여 사고원인을 검토

① 먼저, 상수관 영향을 조사한 결과, 땅꺼짐 발생 및 CU 편의점이 붕괴되고, 약 6분 정도 경과 후* 상수관이 파손되면서, 상수관 파손은 땅꺼짐 원인이 아닌 것으로 판단하였다.

- 또한, 사고현장 주변 우수관 및 오수관에 대한 CCTV 조사결과, 지속적인 땅꺼짐으로 인하여 관이 막히거나 관로침하 등 정비를 필요로 하나, 중대한 결함은 없었던 것으로 조사되었다.
- 기타, 통신(KT, SK)와 전기(한전)도 운영상 이상이 없는 것으로 조사되었다.

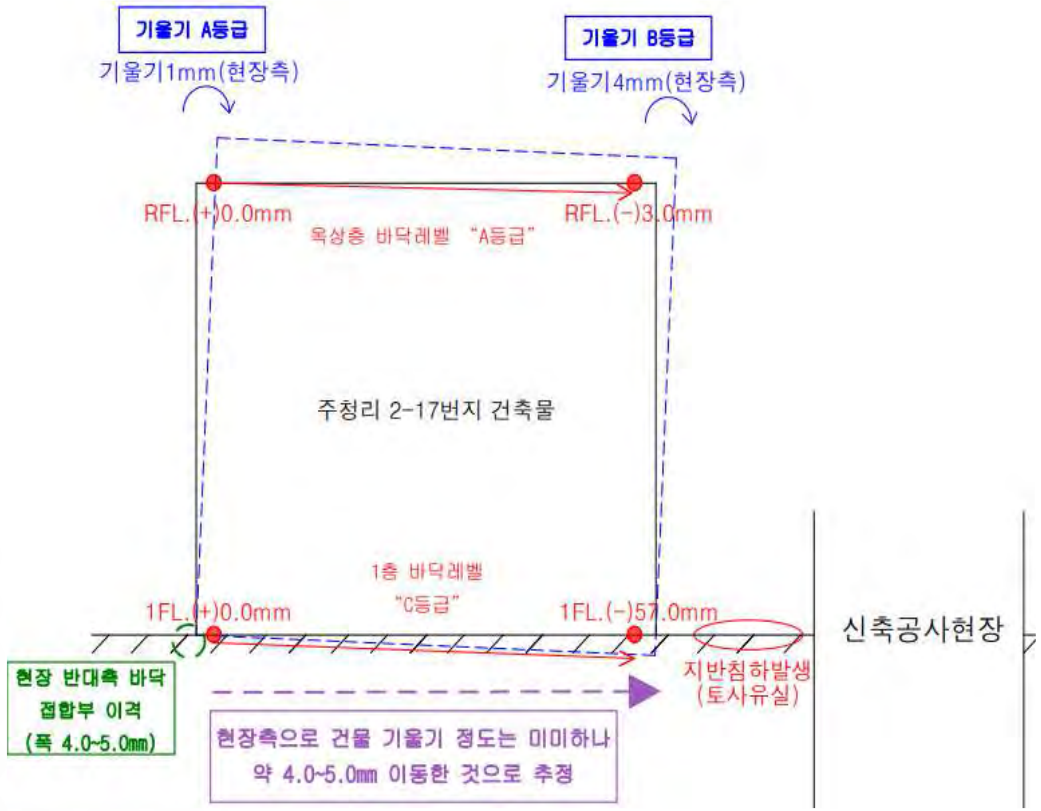


< 낙산배수지의 초단위 유출량(05:00~09:00)>

* 땅꺼짐 발생시점(06:39분), 건물붕괴시점(06:45분)부터 상수 유출량 급증시점(06:51분)까지 6분 시차

□ 지하매설물(상수관, 우수관, 오수관, 통신, 전기) 관련

② 37년이 경과한 CU 편의점 건물은 굴착에 영향을 받을 수 있는 시설물로서 "지하안전평가"의 대상임에도 불구하고 조사가 누락되었으며, 금번 붕괴의 원인 중 바닥슬래브 파단면에 철근 없이 파단이 발생하였다는 사실도 확인하였다.



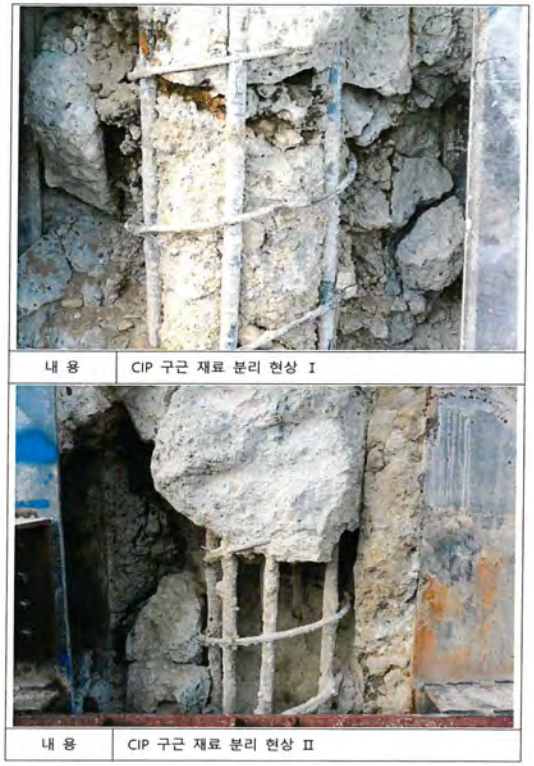
<CU 편의점 건물 침하발생(정밀안전진단보고서 2022.03)>

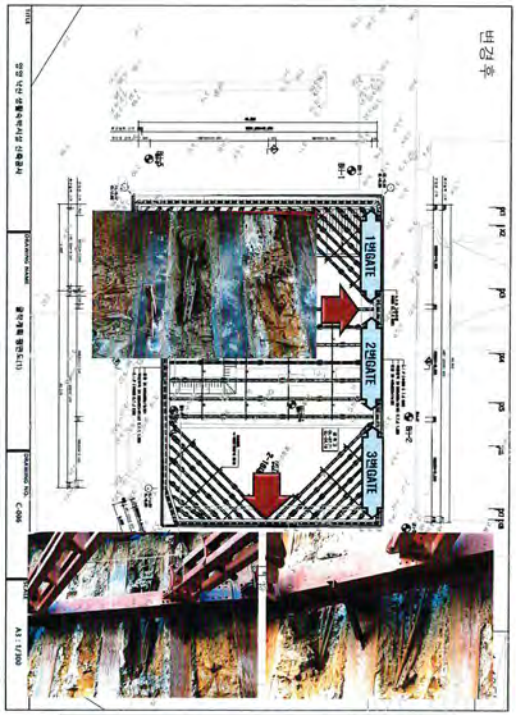
<CU 편의점 바닥 파단부 상태(2022.09.13)>

국토교통부

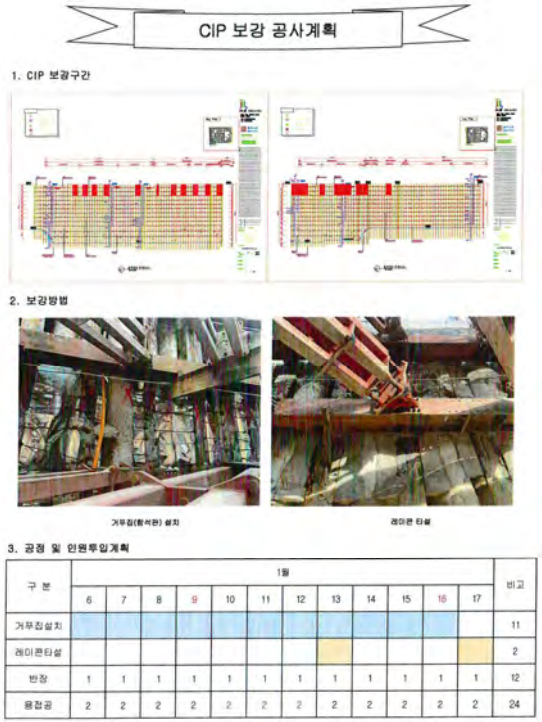
□ 주열식 벽체(C.I.P) 시공품질

- ▶ 제출된 설계도서 上 문제는 없으나, 인접한 **주민 민원** 등에 의한 **시공 연속성 확보 애로**, 해수면과 인접한 **지하수 영향평가 부족** 등으로 터파기시 확인된 **C.I.P 시공품질 저하**
- ▶ **C.I.P 취약부에 대한 강판 보강 및 배면 수평, 수직 그라우팅 시공**
- ▶ 시공사는 **C.I.P 벽체, S.C.W 차수벽 시공품질 불량**을 인지하여 **가시설 벽체 보강 강화**





CIP벽체 구근형상 미흡부위 현황



<C.I.P 구근 형성 불량 예 및 보강 시공계획>

국토교통부

□ S.C.W-ES 차수그라우팅 시공품질

▶ **지하수위가 높고 유동성이 큰 퇴적층(모래)이 분포**하는 지반조건에 적합한 차수공법 적용 미흡

차수공사(S.C.W-ES) 품질관리시 차수효과 확인을 위한 **투수시험 미실시(배합강도 시험만 수행)**

가. 토공사 및 기초공사

종별	시험종목	시험방법	시험계획물량 (설계수량)	시험빈도	시험횟수				비고
					계	자체	의뢰	KS등 성적서	
철근콘크리트용 봉강 SD500 D29	화학성분	KS D 3504	134 TON	제조회사별 제품규격별50톤마다 용접이음부위는 500개소마다	0			◎	KS제품 시험생략
	항복점 또는 항복강도				0			◎	
	인장강도				0			◎	
	연신율				0			◎	
	굽힘성				0			◎	
	겉모양, 치수, 무게				1	1			자재검수시
SCW 흙막이 공법	배합설계	현장시방서	1식	배합변경시	1	1			
	압축강도				1	1			
포틀랜드 시멘트 (KS L 5201)	화학성분	KS L 5120	9,592 포	제조회사별 300톤마다 제조일부터 3월이 되어 재질의 변화가 있다고 인정되는 때	0			◎	KS제품 시험생략
	분말도	KS L 5106			0			◎	
	안정도	KS L 5107			0			◎	
	응결 시간	KS L 5108			0			◎	
	압축강도	KS L 5105			0			◎	

CAMUS E&C

<품질시험계획서(QP-CM2109-01, 2021.09)>

SCW 배합강도 시험일지

1.시험 번호:	SCW배합강도-01
2.시험 일자:	2021년 11월 30일
3.배 합 비:	사질토 : 시멘트 250-400kg, 벤토나이트 10-20kg, 물 350-700kg

※ 압축강도 시험

28일 압축강도 시험

시료번호	파괴하중 (kN)	단면적 (mm)	압축강도 (N/㎟)	평균 (N/㎟)	기준	판정
S-1	44.900	7,850	5.71	6.84	1 ~ 8 (N/㎟)	합격
S-2	50.400	7,850	6.41			
S-3	66.100	7,850	8.41			

※ 압축강도시험 사진

품질관리자	건설사업관리기술

<차수공사 품질관리 시험성적서>

□ 주열식 벽체 구근 및 차수공법 품질로 인한 영향

▶ 주열식 벽체(C.I.P) 구근 형성 미흡 및 차수공법(S.C.W) 성능 확인 미비

- 흙막이 벽 취약부로 집중된 지하수 흐름으로 배면 지반 연약화 및 누수 발생
- 지하수 및 흙입자 유출에 의해 **구조골격이 흐트러져 느슨한 지반상태**가 됨
- 지반내 **지하수 유로가 형성**되고 **연약화된 지반**의 토사가 **S.C.W 차수 품질 저하부와 C.I.P 구근 형성 미흡부를 통하여 내부로 유출**
- 2021.12.~2022.06. 가설 흙막이 벽 지하수 유출 및 토사 유실로 **땅꺼짐 지속적으로 32회 발생**

▶ 가설 흙막이 전 구간에서 **땅꺼짐 발생**으로 인한 임시 복구

(모래부설 및 골재포설 보강, 레미콘타설 등), 지하매설물 복구(상수, 하수 등) 시행

1차 발생 2021.12.25.	4차 발생 2022.1.24.	11차 발생 2022.2.16.	30차 발생 2021.5.6.

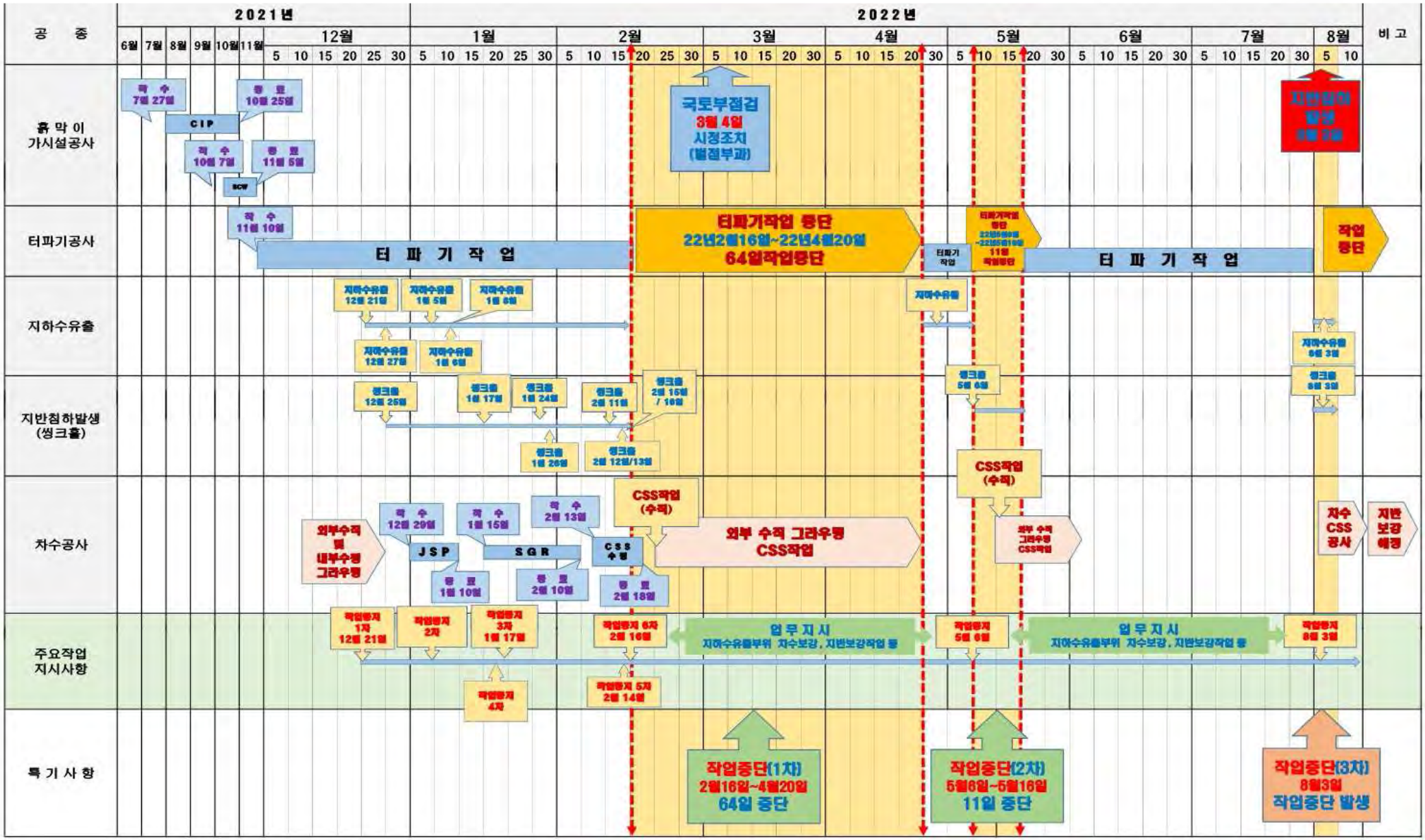
<2021.12~2022.06 땅꺼짐 32회 발생>

국토교통부

□ 주열식 벽체 구근 및 차수공법 품질로 인한 영향

국토교통부

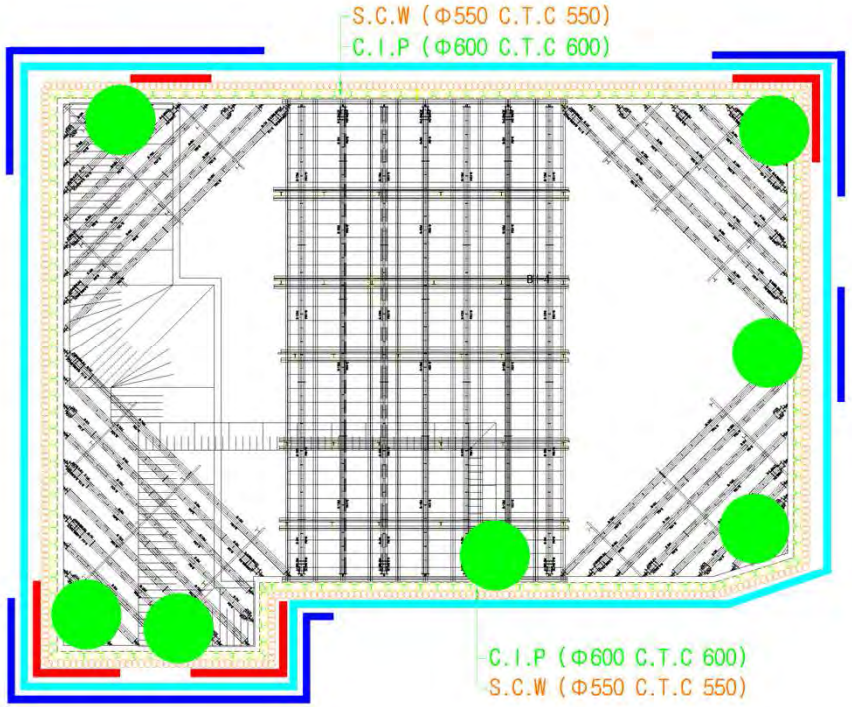
□ 지반침하 발생에 따른 주요진행 현황표



□ 추가 차수공법 적용

▶ 땅꺼짐으로 인한 차수 성능 확보를 위한 **추가 그라우팅 시공**

- 지하수 유출 차단을 위해 2021.12.29.(J.S.P공법) ~ 2022.5.16.(CSS 그라우팅) 차수 그라우팅 (**J.S.P공법, S.G.R공법, CSS공법**) 보강 지속적으로 수행
- 2022년 5월 중순 터파기 공사를 재개하여 7월 말 G.L-27.6m까지 굴착완료
- **지반 연약화가 既진행되었고, 유로가 형성된 상태이기 때문에 보강 그라우팅 효과는 시간경과에 따라 차수 성능이 저하되었을 것으로 판단**



1.JSP
2.내부SGR
3.CSS1열
4.CSS2열

국토교통부

□ 흙막이 계측자료 검토

▶ CU 편의점 인접 구간 계측자료 검토(계측 월간보고서-13회차, 2022년 7월)

- 계측항목, 계측빈도 및 계측관리기준은 지하안전평가서' 제7장 지하안전확보방안 수립'을 참조
- 지하수위계(4개소), 지중경사계(4개소) 2022년 4월 매몰 → 2022년 6월 복구 완료

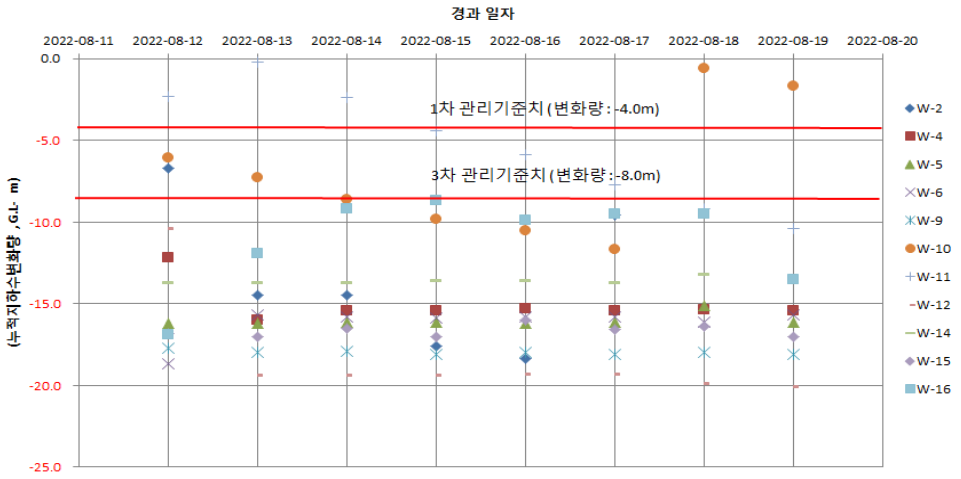
  → **계측결과 땅꺼짐 현상 관련 이상징후는 확인되지 않음**

▶ CU 편의점 땅꺼짐 이후 지하수위계 확인

- 2022년 8월 12일 ~ 2022년 8월 19일 실시된 전체 지하수위계 측정결과를 확인한 결과
- 누적 지하수위 변화량은 **3차관리기준치인 –8.0m를 전반적으로 초과**하는 양상을 보임
- 현장계측기(지중경사계, 지하수위계) 손망실 발생 확인 → **계측관리 소홀 및 신뢰성 낮음**

항목	관리번호	관리기준치(1차)	최대치	비고
지중경사계	I-12	33.25mm	18.08mm	1차 관리기준치 미만으로 안전된 상태
지하수위계	W-12	–4.0m(누적치)	-3.25m(누적치)	
변형률계	S-2-1 ~ 12	88.0MPa	14.5804MPa	
건물경사계	T-9	0.0006°	1/1000	
균열측정계	C-9	0.2mm	0.04mm	
지표침하계	SP-13-1~3	15mm	6mm	

<CU 편의점 인근 땅꺼짐 전 7월 계측결과>



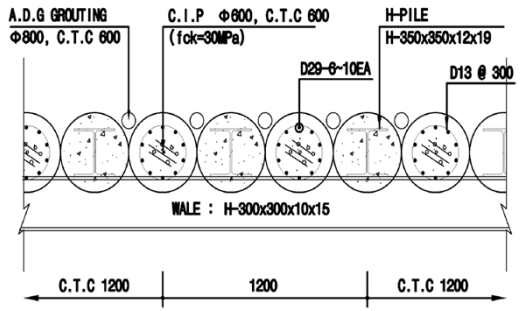
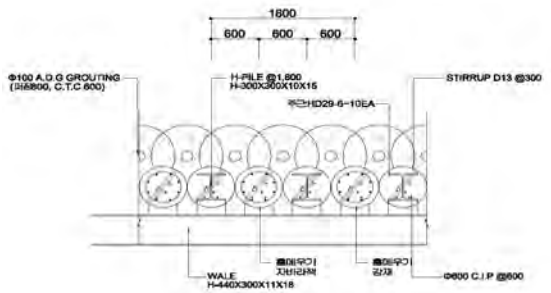
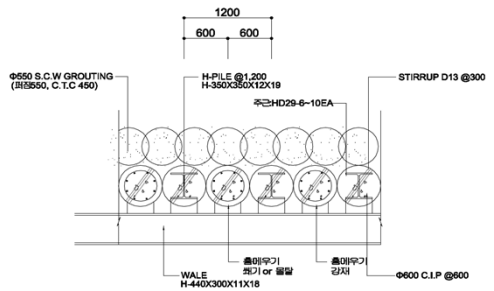
<CU 편의점 땅꺼짐 현상 후 지하수위 누적 변위량>

□ 인허가 절차 등 제도 관련 검토

▶ 인·허가 관련 지방 건축·경관통합심의, 지방건축 전문위원회 구조안전심의 절차를 통해 착공승인

▶ 지하안전평가 흙막이 지지구조와 차수공법 설계변경 관련

- 지하안전평가 "조건부 동의" 한 가설 **흙막이 지지구조와 차수공법 변경** 시공
- 가설 흙막이 지지구조(**재래식 STRUT공법** → **합성버팀보공법**)에 대해 지방건축위원회 구조안전심의를 통해 승인
- 차수공법(**A.D.G Grouting(Ø800, C.T.C 600)** → **S.C.W-ES공법(Ø550, C.T.C 450)**)은 승인기관(양양군 재난안전과, 허가민원실)에서 **재협의 대상이 아닌 것으로 통보**하였고, **안전관리계획서와 품질관리계획서를 보완하여 승인**

구 분	건축허가 및 지하안전평가	지방건축위원회 구조안전심의 승인	착공 후 시공 중 설계변경
벽 체	C.I.P.(⌀600), H파일	C.I.P.(⌀600), H파일	C.I.P.(⌀600), H파일
지 지	**재래식 STRUT**	**합성버팀보**	**합성버팀보**
차 수	**A.D.G.(Ø800)**	**A.D.G.(Ø800)**	**S.C.W-ES(Ø550)**
상 세			

□ 사고원인 분석 결과

▶ **C.I.P 주열식 벽체의 구근 형성 미흡과 S.C.W-ES 차수그라우팅 품질저하가 발생**

- 주열식 흙막이(C.I.P)의 콘크리트 타설시 일부 **흙막이 벽체에서 재료분리로 인하여 주열식 벽체의 구근 형성 미흡**
- **차수 그라우팅** 벽을 통과하여 유출되는 지하수 및 토사를 방지하는 2차적인 차단 및 구조체로서의 **역할 미흡**
- **S.C.W-ES 차수공법**은 시공 후 차수 그라우팅의 품질확인이 반드시 필요한 현장조건이었으나 **소일시멘트 공시체 배합강도시험만 실시**하고 **차수 성능평가 미시행**

▶ 이로 인하여 건축현장 주변으로 발생한 **지반 연약화와 지하수 유로 형성 발생**으로 인하여 **추가 차수 그라우팅의 품질확보도 어려움**

▶ 추가 차수 보강공사로 인하여 **지연된 공기회복**을 위하여, 암발파를 포함한 약 15m(버팀대 7~12단) 지반의 터파기가 6~7월 집중 시행(시공사-양양 낙산 생활숙박시설 신축공사 지반침하 진행사항)

→ 진동영향으로 인하여 C.I.P 및 차수공법의 **불안정을 유발**(추가)

▶ 계측보고서 땅꺼짐 관련 내용 및 검토 누락, **계측기 손망실 확인 계측관리 소홀 및 신뢰성 낮음**

▶ 시공사, 감리사, 양양군청은 상기 원인에 대하여 **굴착공사 초기부터 인지하여 여러 가지 대응방안(공법)을 선택**하여 시공하였으나, **배면 지반의 연약화와 旣 형성된 흙막이 벽 배면 지반에 발달한 유로에 대응하기에는 역부족**

□ 당해현장 및 인근 시공현장에 대한 확인사항

▶ 현장 인근에는 다수의 신축 건설현장이 있고, 터파기 공사가 진행되거나 진행 예정

- 가설 흙막이 벽 및 차수그라우팅의 시공 품질상태 전수 조사 필요 → 외부 전문가
- 흙막이 벽체의 강성이 크고 차수성 있는 공법 적용 필수(예, 2열 C.I.P, 지하연속벽)
- 지하수 유동에 의한 주입재 유실 또는 희석 방지 및 내구성 있는 차수공법 적용 필요

  (시험시공 및 품질확인시험 수행)
- 계측전문업체, 시공사, 감리사 공동으로 계측기 상태 1회/월 이상 합동 점검
- CU 편의점 안전진단결과 및 손상사례를 참조하여 타 건설공사 현장 인근의 건축물 안전확보 방안을 마련

▶ 당해 현장 지반 보강 및 벽체 보강 완료 후 손상된 흙막이 벽체의 안전확보를 위해

본 구조물의 지하층 기초 MAT 및 벽체 우선 타설

안전은 권리입니다

자기규율 안전체제 확립

겨울철 건설현장

일산화탄소 질식 재해 예방

산업재해예방
안전보건공단

중앙사고조사단 예방조사기획팀장 김욱(MPH, 기술사)

Contents

1 사고 사례

2 일산화탄소 중독의 위험성

3 산업안전보건법에 따른 사업주 의무사항

4 예방대책 및 관리방안

산업재해예방
안전보건공단

1

사고 사례

밀폐공간(Confined Space)란?

- 근로자가 작업을 수행할 수 있는 공간으로 **환기가 불충분한 공간**
- **산소결핍***, **유해가스****로 인한 **질식, 화재·폭발** 등의 위험이 있는 장소로서

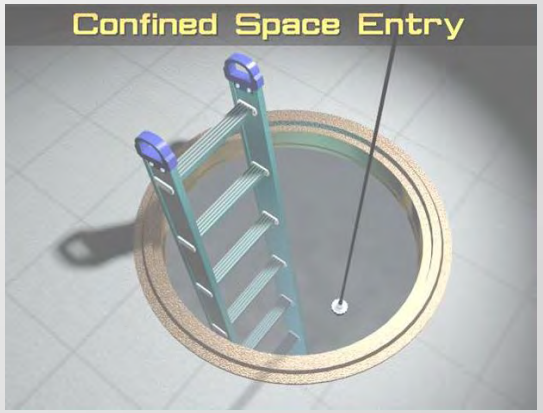
  산업안전보건 기준에 관한 규칙 별표 18에서 정한 장소(18개 작업장소)

  * 산소결핍 : 공기 중의 산소농도가 18% 미만인 상태

  ** 유해가스 : 밀폐공간에서 탄산가스, 일산화탄소, 황화수소 등 기체로서 인체에 유해한 영향을 미치는 물질

- **출입 제한,**

  계속해서 머무를 수 없는 공간



죽음을 부르는 밀폐공간은 어디일까?

질식 3대 위험장소

1	2	3
맨홀, 하수처리시설	양돈, 축산 농가	건설현장 콘크리트 양생
산소결핍, 이산화탄소	황화수소(H_2S)	일산화탄소(CO)

건설현장 밀폐공간의 종류

콘크리트 보온·양생 작업 시 CO 중독, 지하주차장 도장공사 등

콘크리트 보온

양생을 위해 갈탄 사용

갈탄 co 농도 측정

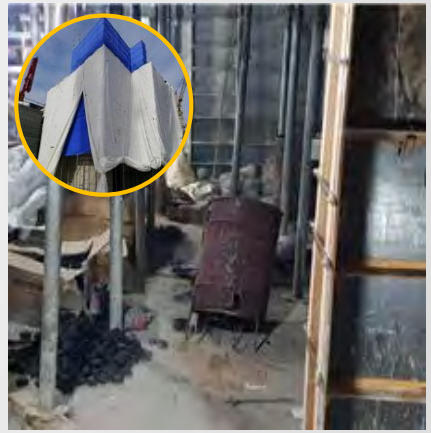
건설현장에서의 질식재해 사례

사망 2명, 부상 1명

콘크리트 보온·양생 용도로 설치한 갈탄 난로의 관리 및 양생 상태 확인 작업을 하던 중 일산화탄소(CO)에 중독 질식

사망 2명

아파트 옥탑 2층 Con's 타설 후 보온·양생용으로 피워 놓은 드럼난로의 숯탄을 보충작업 중 CO에 중독 질식

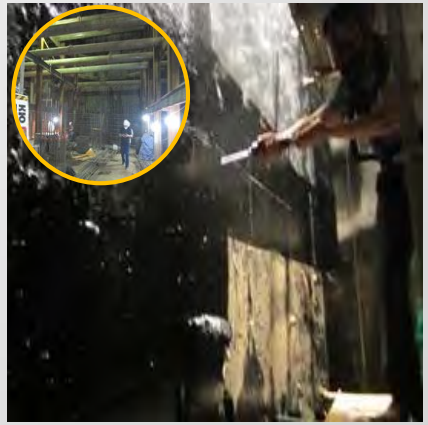


사망 2명

가솔린 엔진 작동형 양수 펌프의 연료 체크를 위해 지하 펌프장으로 들어가 연료 연소 시 발생한 CO에 중독 질식

사망 1명, 부상 2

터널 개착 구간에서 SHEET 방수 작업을 위해 톨루엔이 다량 함유된 아스팔트 프라이머 도포 작업 중 톨루엔 중독



1. 사고 사례

MBC는 대한민국의 공영 방송 서비스입니다. 위키 백과

#갈탄 #일산화탄소중독

[대구MBC뉴스] 공사장서 갈탄 피우다..일산화탄소 중독 사고

대구MBC뉴스
구독자 11.6만명
구독
11
공유

자료 : 대구MBC

1. 사고 사례

이번엔 화성 뉴타운 현장서 중대재해..."1명 사망, 1명 부상"

한국경제 | 2022.01.14 18:24
최종수정 | 2022.01.14 18:30

댓글 0 | 0 | 공유 | 가 가

이번엔 화성 남양뉴타운 공동주택 신축공사 현장에서 또 다시 중대재해로 볼 수 있는 사고가 발생했다. 현대산업개발 광주 붕괴 사고에 이어 건설현장에서 연이어 산재 사망 사고가 벌어지면서 중대재해처벌법 1호 처벌 기업은 건설업체가 될 것이라는 전망이 힘을 받고 있다.

지하철 8호선 공사장 노동자 질식사고…6명 병원 이송

이혁근 기자 | 기사입력 2022-07-23 08:31 | 최종수정 2022-07-23 09:16

【앵커멘트】

서울 지하철 8호선 공사장에서 작업자 6명이 쓰러져 병원으로 옮겨졌습니다.

작업자들이 갑자기 두통과 어지럼증을 호소하며 쓰러져, 가스 유출 가능성이 커 보입니다.

자료 : 한국경제, MBN

1. 사고 사례

21명 일산화탄소 중독...파주 아파트 건설현장서 사고

이승욱 기자 +구독

사고 현장. 소방당국 제공

경기북부소방재난본부는 15일 오후 4시55분께 경기 파주시 동패동의 한 아파트 신축 공사 현장에서 노동자 21명이 일산화탄소에 중독된 것으로 추정되는 사고가 났다고 밝혔다.

#JTBC뉴스룸 #JTBC뉴스 #이승환기자

비싼 등유 대신 숯탄 쓰다가...반복되는 '공사장 질식 사고' / JTBC 뉴스룸

JTBC News 구독자 262만명 구독 19 공유

자료 : 한겨레, JTBC

2

일산화탄소 중독의 위험성

2. 일산화탄소 중독의 위험성

- 밀폐공간
- 질식작용

이해가 중요!

2. 일산화탄소 중독의 위험성

대기압 760 mmHg

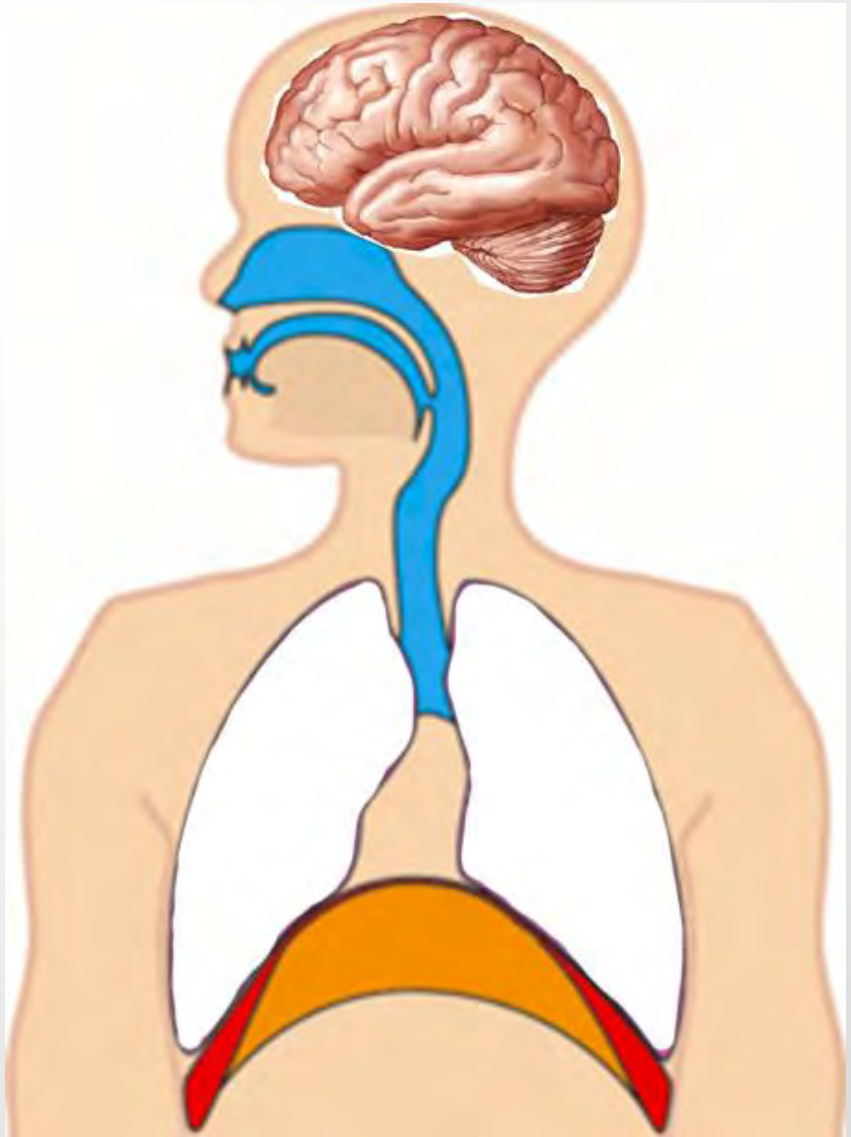
산소농도 21%

산소분압

PO_2

= 760 mmHg x 21%

= 160 mmHg

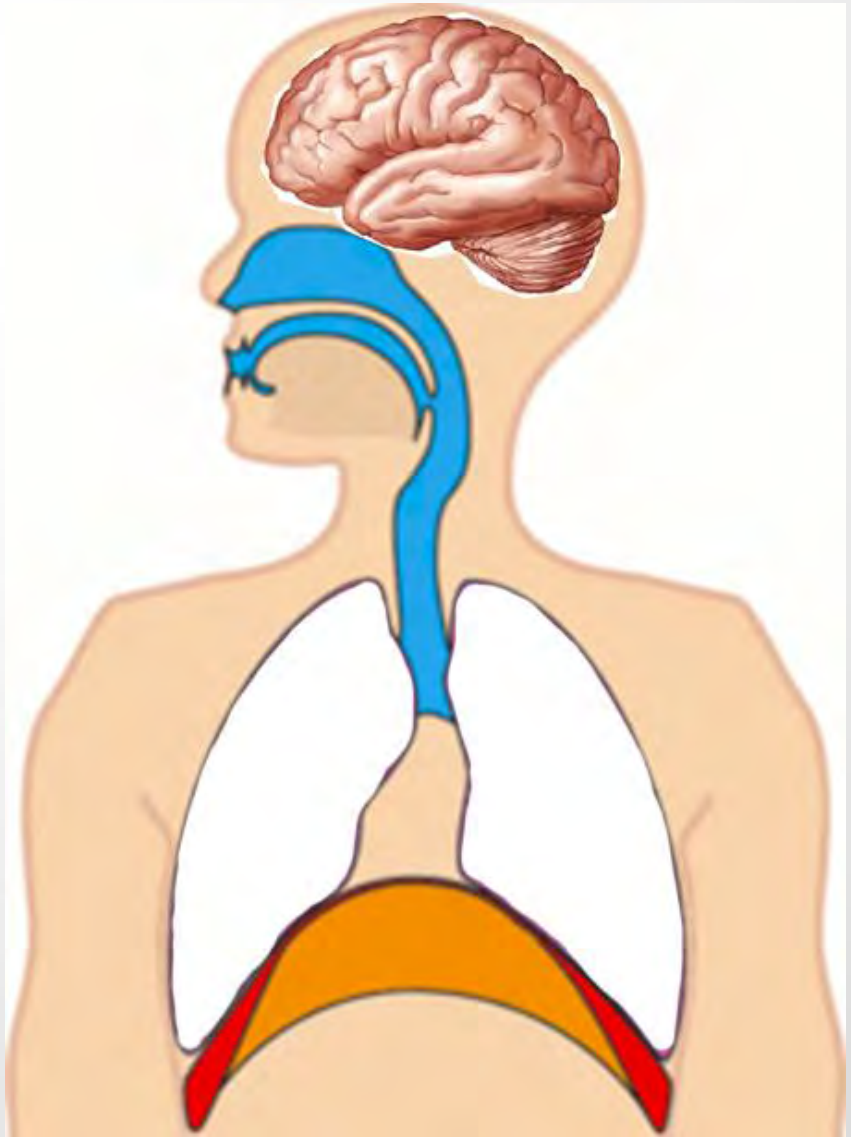


ref. : Prof. Park DY

2. 일산화탄소 중독의 위험성

만약에 숨을 안 쉬면

1~2분은 그대로 유지



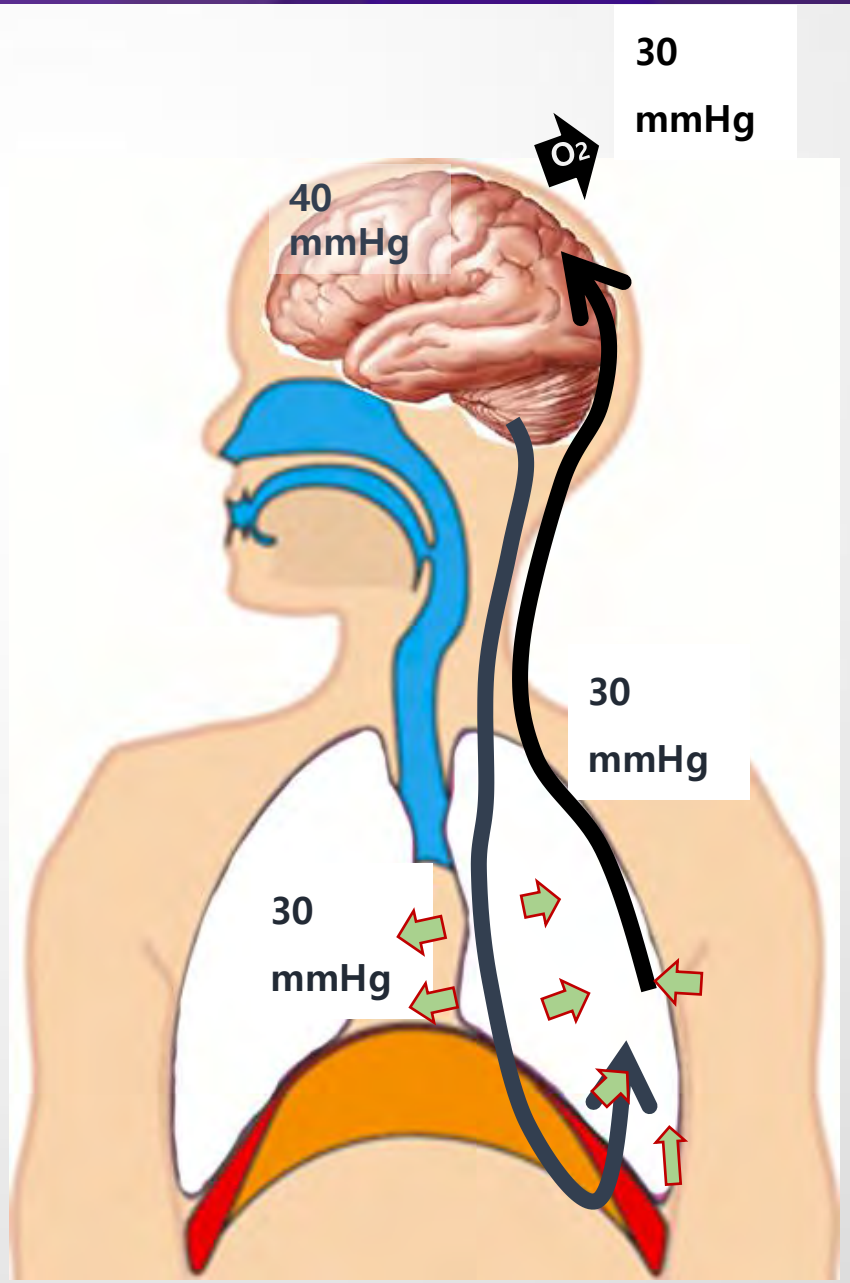
ref. : Prof. Park DY

2. 일산화탄소 중독의 위험성

그러나 산소농도가
4%이하가 되면

산소분압
= 760 mmHg x 0.04
= 30 mmHg

이 공기는 한 모금만
들이마시면 정신을 잃고
두 모금만 들이마시면
즉사하게 됨



ref. : Prof. Park DY

질식위험가스 & 밀폐공간

- 절대로 마시면 안되는 공기, 절대로 그냥 들어가면 안 되는 공간

→ 절대로 마시게 해서는 안되는 공기

→ 절대로 그냥 들여보내면 안 되는 공간

- 직영
- 위탁
- 하청

→ 알려주고 관리하는지?!

ref. : Prof. Park DY

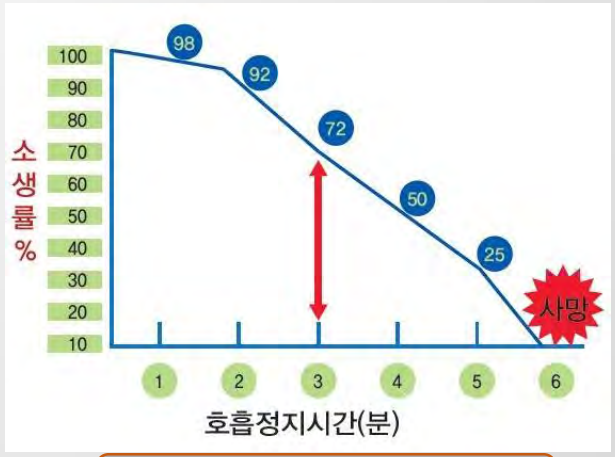
질식(Asphyxia)란?

- 심장 박동이 없다는 뜻
- 정상적으로 숨을 쉬지 못해 인체에 산소공급이 심하게 부족한 상태

→ 정상적으로는 산소가 부족하면 이산화탄소가 증가하여 호흡중추를 자극

→ 즉시 산소공급이 재개되지 않으면 의식을 잃고 뇌 손상이 되어 사망

산소결핍의 인체 영향



6분 이상 이면 소생불가능

일산화탄소(CO) 중독 발생 기전

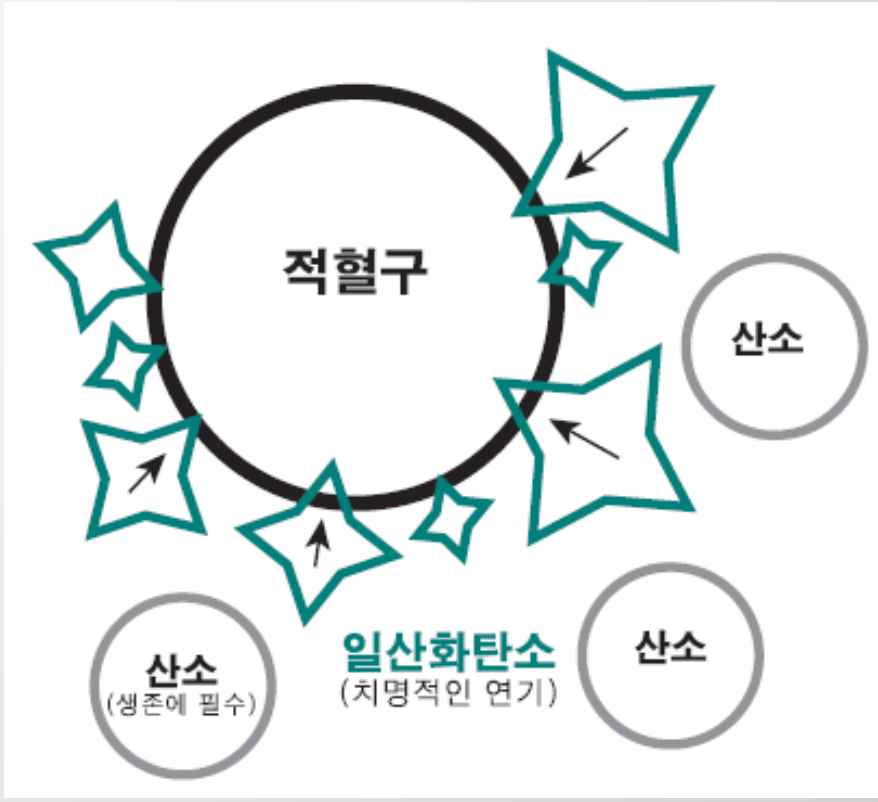
CO 특성

- 무색 무취 가스로 불완전 연소 시 발생

일산화탄소 중독 기전

- 고농도의 일산화탄소 흡입 시 혈액 속의 헤모글로빈과 결합하여 헤모글로빈의 **산소 운반기능을 뺏어버림**

→ 뇌에 산소 전달이 안되어 즉사



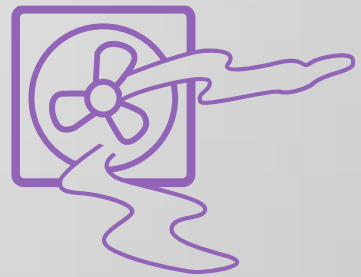
3

산안법 의무사항

밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

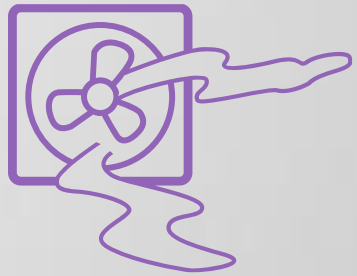
- (인식) 사업주는 사업장 내 밀폐공간의 위치 파악 및 관리방안, 유해위험요인의 파악 및 관리방안, 작업전 확인이 필요한 사항에 대한 확인절차, 교육훈련 등이 포함된 **밀폐공간 작업 프로그램**을 수립 시행하여야 한다(기준규칙 제619조)

- (대비) 사업주는 밀폐공간 작업 전 다음 사항을 확인하고 작업이 종료 될 때 까지 출입구에 게시
  - 작업 일시, 기간, 장소 및 내용 등 작업 정보
  - 관리감독자, 근로자, 감시인 등 작업자 정보
  - 산소 및 유해가스 농도의 측정결과 및 후속조치 사항
  - 유해가스 누출, 유입, 발생 가능성 검토 및 후속조치 사항
  - 작업 시 착용해야 할 보호구의 종류
  - 비상연락체계



밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

- **(특별교육) 안전보건 교육 및 훈련(시행규칙 제26조제1항, 별표5)**
  - 산소농도 측정 및 작업환경에 관한 사항
  - 사고 시의 응급처치 및 비상 시 구출에 관한 사항
  - 보호구 착용 및 보호 장비 사용에 관한 사항
  - 작업내용, 안전작업방법 및 절차에 관한 사항
  - 장비, 설비 및 시설 등의 안전점검에 관한 사항 등



- **(유해위험방지) 관리감독자 직무수행 내용(기준규칙 제35조, 별표2)**
  - 산소가 결핍된 공기나 유해가스에 노출되지 않도록 작업 시작 전에 해당 근로자의 작업을 지휘하는 업무
  - 작업을 하는 장소의 공기가 적절한지를 작업 시작 전에 측정하는 업무
  - 측정장비, 환기장치 또는 공기호흡기 또는 송기마스크를 작업 시작 전에 점검하는 업무
  - 근로자에게 공기호흡기 또는 송기마스크의 착용을 지도하고 착용상황을 점검하는 업무

밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

- (유해가스 농도 측정) 사업주는 작업시작 전(중단 후 재시작 포함) 밀폐공간의 산소 및 유해가스 농도를 관리감독자, 안전/보건관리자/전문기관, 건설재해예방전문지도기관, 작업환경측정기관, 공단 교육 이수자 등에게 측정(무선/원격측정 포함)하여 적정여부 평가하도록 하여야 함(기준규칙 제619조의2)

- (환기) 사업주는 작업 전, 중에 적정공기 상태가 유지되도록 환기하여야 함(기준규칙 제620조)

- (인원점검) 사업주는 밀폐공간에 입장, 퇴장하는 때마다 인원을 점검해야 함(기준규칙 제621조

- (출입금지) 사업주는 밀폐공간에 관계 근로자 외 출입을 금지하고 표지를 게시하여야 하며, 근로자는 출입금지 장소에 사업주 허락 없이 출입해서는 아니 됨(기준규칙 제622조)

밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

- (감시인) 사업주는 작업상황을 감시하는 감시인을 지정하여 밀폐공간 외부에 배치하여야 함. 감시인은 근로자 이상 시 구조요청 등 필요한 조치를 한 후 관리감독자에게 알려야 함. 사업주는 근로자와 감시인 간에 연락을 취할 수 있는 설비를 설치하여야 함(기준규칙 제623조)

- (안전대) 사업주는 산소결핍이나 유해가스로 인해 근로자 추락위험이 있는 경우 안전대나 구명밧줄, 공기호흡기 또는 송기마스크를 지급하여 착용토록 하여야 하며, 안전대나 구명 밧줄을 착용하도록 하는 경우 이를 안전하게 착용할 수 있는 설비를 설치하여야 함. 근로자는 지급된 보호구를 착용하여야 함(기준규칙 제624조)

- (대피용 기구) 사업주는 비상시 근로자를 구출하기 위해 공기호흡기 또는 송기마스크, 사다리 및 섬유로프 등 필요한 기구를 갖추어 두어야 함(기준규칙 제625조)

밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

- (사후조치) 사업주는 측정 또는 점검시 이상이 있을 경우 즉시 환기, 보호구 지급, 설비 보수 등 필요한 조치를 해야 함(기준규칙 제638조)

- (대피) 질식 우려가 있는 경우 즉시 작업중지 및 해당 근로자를 대피하도록 해야 함. 적정공기 상태 확인 전까지 관계자외 출입금지 및 표지를 게시하여야 함(기준규칙 제639조)

- (긴급 구조 훈련) 사업주는 밀폐공간 작업 근로자에 대한 긴급 구조 훈련을 6개월에 1회 이상 주기적으로 실시 및 결과 기록보존 해야 함(기준규칙 제640조)
  - 비상연락 체계 운영
  - 구조용 장비 사용
  - 공기호흡기 또는 송기마스크의 착용
  - 응급처치

밀폐공간 내 작업을 하도록 하는 경우

- (안전작업방법 주지) 사업주는 밀폐공간에서 근로자가 안전하게 작업하기 위하여 다음 사항을 작업근로자 및 감시인에게 알려야 함(기준규칙 제641조)
  - 산소 및 유해가스 농도 측정에 관한 사항
  - 환기설비의 가동요령 등 안전한 작업방법에 관한 사항
  - 보호구의 착용과 사용방법에 관한 사항
  - 사고 시의 응급조치 요령
  - 구조요청을 할 수 있는 비상연락처, 구조용 장비의 사용 등 비상시 구출에 관한 사항

4

예방대책

❶ 환기

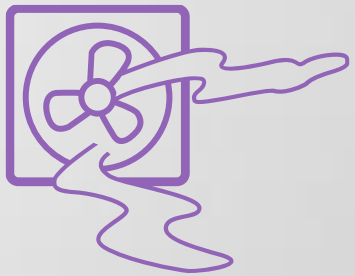
❷ 농도 측정

❸ 보호장비

❹ 기타

밀폐공간 내 환기기준 및 절차

- 밀폐공간에서 유해가스 제거, 적정 산소농도 유지를 위해
  작업 시작 전 밀폐공간 **체적의 5배 이상** 외부 신선한 공기로 **환기(급기)**한 후 출입
- 작업 중에는 **적정 공기가 유지되도록 계속 환기**(시간당 공기 교환 횟수 20회 이상)
- 밀폐공간의 체적에 적합한 송풍기 용량을 갖춘 **환기팬 구비**
- 밀폐공간 작업 시 **적정 공기 상태 유지**를 위한 **환기의 조치 사항**
  - 밀폐공간 내 유해공기가 완전히 제거 전까지는 출입 금지 조치
  - 환기팬에 송풍관(덕트)을 연결하여 작업자 위치 주변에 위치
  - **작업 전(前)에는** 구비된 환기팬으로 **15분 이상 급기**
  - 작업을 시작하기 전에 산소 및 유해가스농도 측정
    → 이상이 있는 경우 추가로 환기 또는 송기마스크 착용 등 작업자 보호조치
  - **작업 중(中)에는** 구비된 환기팬을 **작업종료 시 까지 계속 가동**



환기장치에 의한 환기 시 주의사항

1. 유해가스 제거, 적정 산소농도 유지를 위해 작업 시작 전 밀폐공간 내부 체적의 5배 이상 환기(외부 공기를 밀폐공간 내로 불어넣는 급기방식)
2. 메탄가스, 황화수소 등의 가스 발생 시 거품효과 때문에 지속적인 환기 실시
3. 가연성가스 등이 존재할 때 방폭형 모터 및 팬 사용
4. 정전 등에 의한 환기 중단 시 즉시 외부로 대피
5. 급기구와 배기구의 적절한 배치
6. 배기구는 출입구로부터 멀리, 급기구는 작업자에 가까이에서 등지고 설치
7. 송풍관(덕트)은 구부리는 부위가 적게 하고 용접불꽃에 대비한 난연재질 사용

이동식 환기장치의 덕트 연결방법(예)

산소 및 유해가스 농도 측정?

측정 시기 및 측정자

- 작업 시작(작업을 일시 중단하였다가 다시 시작하는 경우 포함) 전

  ❶ 관리감독자, ❷ 안전관리자 또는 보건관리자, ❸ 안전관리전문기관,

  ❹ 보건관리전문기관, ❺ 작업환경측정기관으로 하여금 측정

측정에 따른 조치사항

- 산소 및 유해가스 농도를 측정한 결과 적정공기가 유지되고 있지 않은 경우

  → ❶ 환기를 시키거나, ❷ 근로자에게 공기호흡기 또는 송기마스크를 지급

  하여 착용하도록 하는 등 근로자의 건강장해 예방을 위한 필요한 조치

산소 및 유해가스 농도 측정 방법

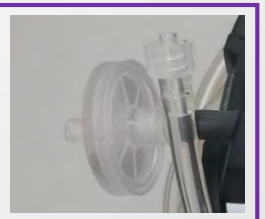
- 면적 및 깊이를 고려하여 밀폐공간 내부를 골고루 측정

  (작업장소에 대해 수직 및 수평방향으로 각각 3개소 이상 측정)

- 탱크 등 깊은 장소의 농도를 측정 시에는 고무호스나 PVC로 된 채기관으로 측정

  (채기관은 1m 마다 작은 눈금으로, 5m 마다 큰 눈금으로 표시)

혼합가스농도측정기



채기관(커넥터 및 눈금 표시)

유해가스 측정 시 주의사항

1. 측정기는 사전 이상 유무 확인 및 정기적으로 교정
2. 측정 시 머리가 밀폐공간 개구면 안쪽으로 들어가지 않도록 조치
3. 깊은 곳을 측정 할 경우에는 공기 호흡기 또는 송기마스크를 착용 후 측정
4. 밀폐공간 내부는 가연성 가스가 차 있을 수 있으므로 어두운 내부에서 측정을 하는 경우 방폭 구조의 전등 사용
5. 긴급상황에 대비해 감시인을 배치해야 하며, 안전대, 구명 밧줄 등을 준비

호흡용 보호구(공기호흡기 또는 송기마스크)

- 환기가 어렵거나 유해가스가 계속 발생할 가능성이 있을 때 착용
- 재해자를 구조해야 할 경우 반드시 호흡용 보호구 착용
- 공기호흡기 및 송기마스크 이용(방독마스크 사용 금지)

공기호흡기(SCBA) 사용

- 환기를 할 수 없거나 환기만으로 불충분한 경우 반드시 착용 사용
- 무겁고 유효 사용시간(10~80분)도 짧으나 활동범위에 제약을 받지 않아 조사 및 구조 활동에 많이 사용

허리끈, 어깨끈 착용

마스크 착용

기밀시험 및 밸브조절

마스크 탈착

호흡용 보호구(공기호흡기 또는 송기마스크)

송기마스크 사용

- 활동범위에 제한을 받지만, 가볍고 유효 사용기간이 길어 장시간 작업에 주로 이용
- 대기를 공기원으로 하는 호스 마스크, 압축공기를 공기원으로 하는 에어라인 마스크로 구분

호스 마스크

전동

수동

흡인식	착용자의 폐력으로 흡인
송풍식	전동 송풍기, 수동 송풍기

에어라인 마스크

일정 유량식

디멘드식

일정 유량식 디멘드 & 압력디맨드형	컴프레서 or 공기봄베

기타 안전장비

재해자 구조장비

그네식 안전대

충격흡수장치

구명밧줄

구조용 삼각대

1

2

3

① 보호가드 및 표지판(출입 통제)

② 무전기(감시자와 작업자 상호연락)

③ 휴대용 랜턴(조명 확보)

밀폐공간 작업관리

관리자외 출입금지, 허가서 발굴, 감시인 배치 등

관계자외 출입금지

작업허가서 발급

연락체제 구축

감시인의 배치

출입인원(작업인원)의점검

긴급 구조 훈련

밀폐공간 작업 관리

재해자 구조요령

❶ 재해자 발생 시 119 연락 또는 주변 동료 작업자에게 요청
(주변에 자동심장충격기가 비치되어 있는 경우 함께 요청)

❷ 환기 실시, 공기호흡기·송기마스크 착용 후 구조(방독·방진마스크 불가)

※ 아무리 급해도 재해자를 구하기 위해 안전조치 없이 밀폐공간 내로 들어가선 절대 안됨!!!

❸ 얼굴과 가슴을 관찰하여 호흡이 있는지 확인

❹ 호흡이나 맥박 없을 시 가슴압박 30회 실시(반복)

※ 인공호흡 방법을 모르거나 인공호흡을 꺼리는 일반인 구조자는 가슴압박소생술(compression-only CPR 또는 hands-only CPR)을 하도록 권장

※ 인공호흡을 할 수 있는 구조자 경우 심폐소생술(가슴압박 30회한 후 인공호흡 2회 연속반복) 실시

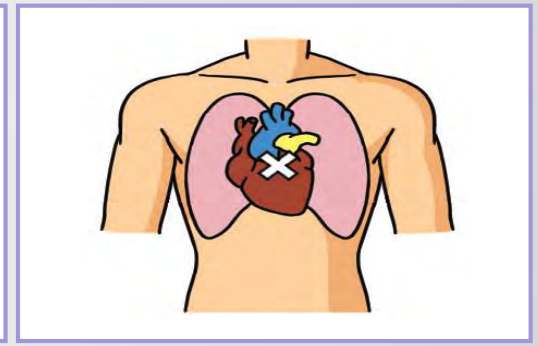
❺ 회복 자세(호흡이 회복되었으면 옆으로 돌려 눕혀 기도가 막히는 것 예방

심폐소생술 시행방법

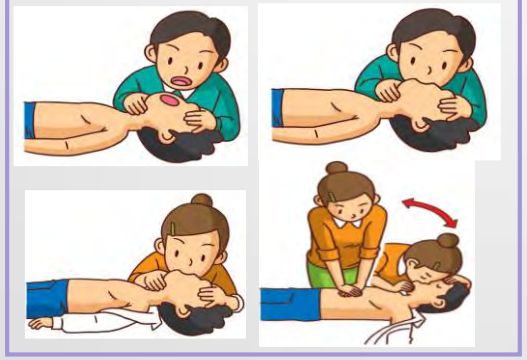
1 심정지확인

2 119 신고 요청 및 자동심장충격기 요청

3 가슴 압박 실시(30회) 및 가슴압박위치



4 인공호흡 시행(2회) ∴생략가능



5 회복자세

팔 직각(구조자 쪽)

손등은 볼에

무릎세워넘김 (반대쪽)

무릎직각

감사합니다
Thank you

wokus@outlook.com