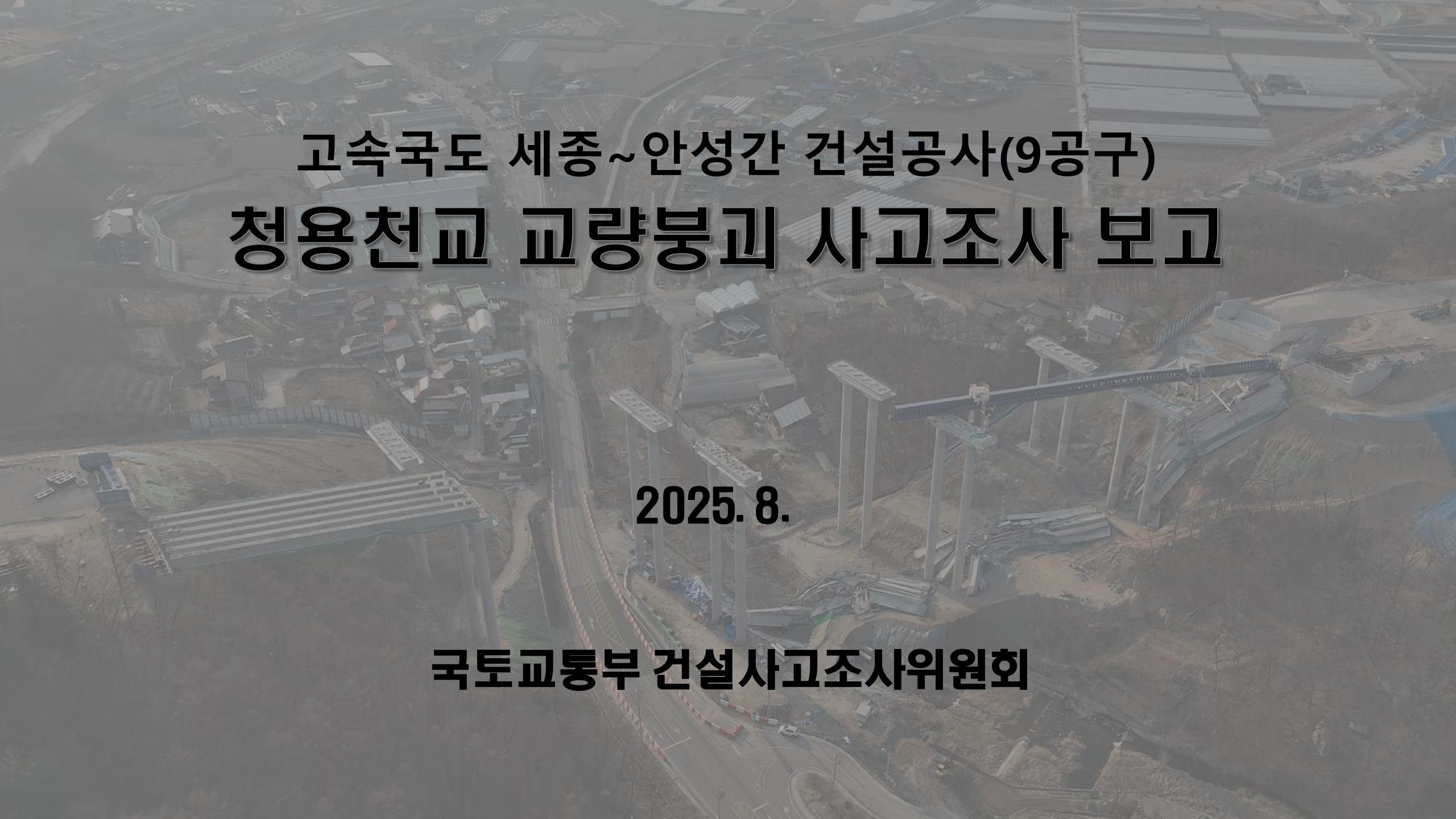


고속국도 세종~안성간 건설공사(9공구)

청용천교 교량붕괴 사고조사 보고

2025. 8.

국토교통부 건설사고조사위원회


A2
P4

목차

제1장 개요

제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

제3장 현장조사

제4장 구조해석

제5장 붕괴원인

제6장 재발방지대책

제7장 결언



제1장 개요

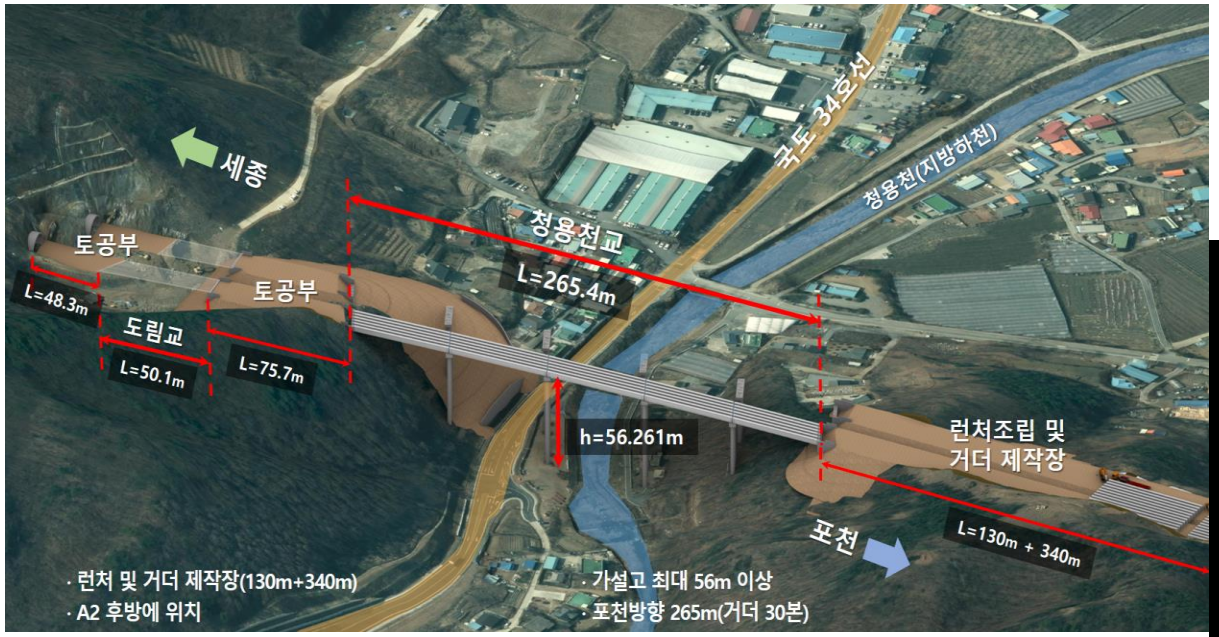
사고 현장 현황

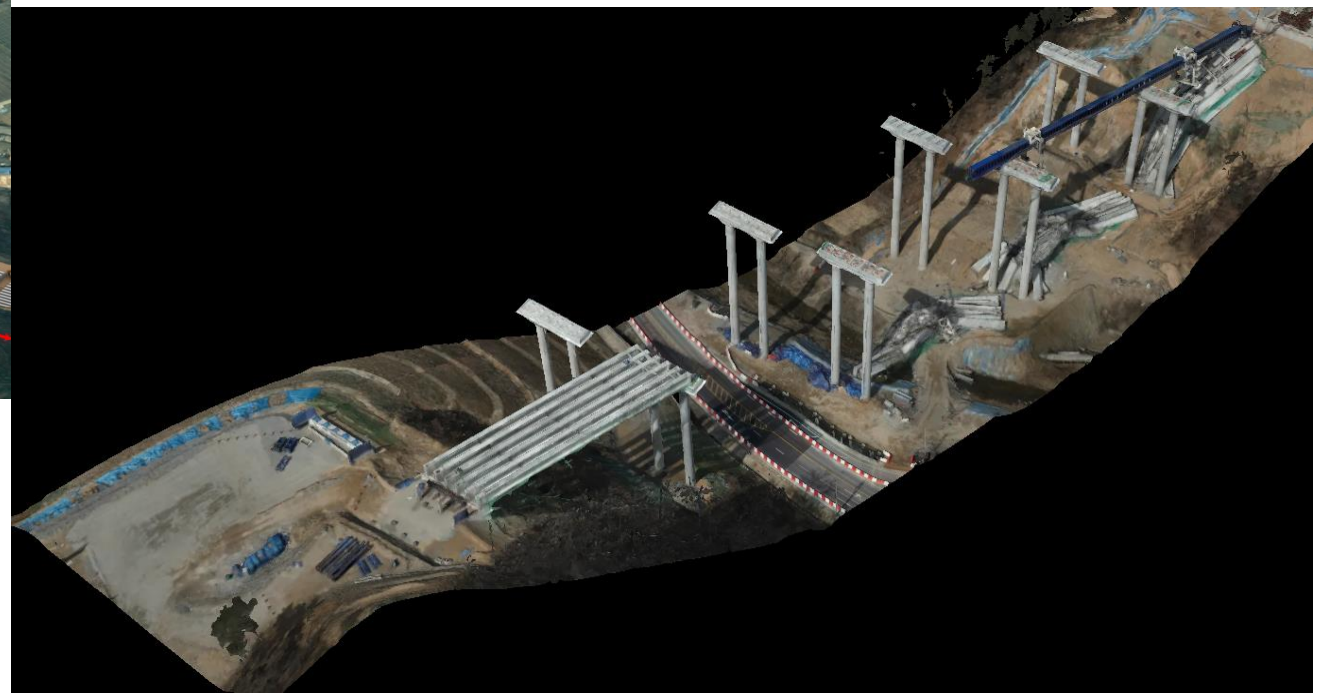
- ▶ 공 사 명 : 고속국도 제29호선 세종~안성간 건설공사(9공구)
- ▶ 공 사 비 : 1,925억원
- ▶ 공사기간 : 2019.12.27 ~ 2026.12.31.(84개월)
- ▶ 공사진행율 : 61.7%
- ▶ 발주청 : 한국도로공사 (감독공구)
- ▶ 설계사 : (주)한맥기술, (주)삼안, (주)도화
- ▶ 시공사 : 현대엔지니어링(주관사), 호반건설
- ▶ 건설사업관리자 : 유신, 진우, 다산, 도화, 수성
- ▶ 청용천교 공사 하도급 계약내용
  - 공 사 명 : 상부공 공사
  - 교량 형식 : PSC I형 거더 (DR거더)
  - 범 위 : DR거더 제작, 운반 및 가설
  - 수급사업자 : (주) 장헌산업



제1장 개요

청용천교 현황





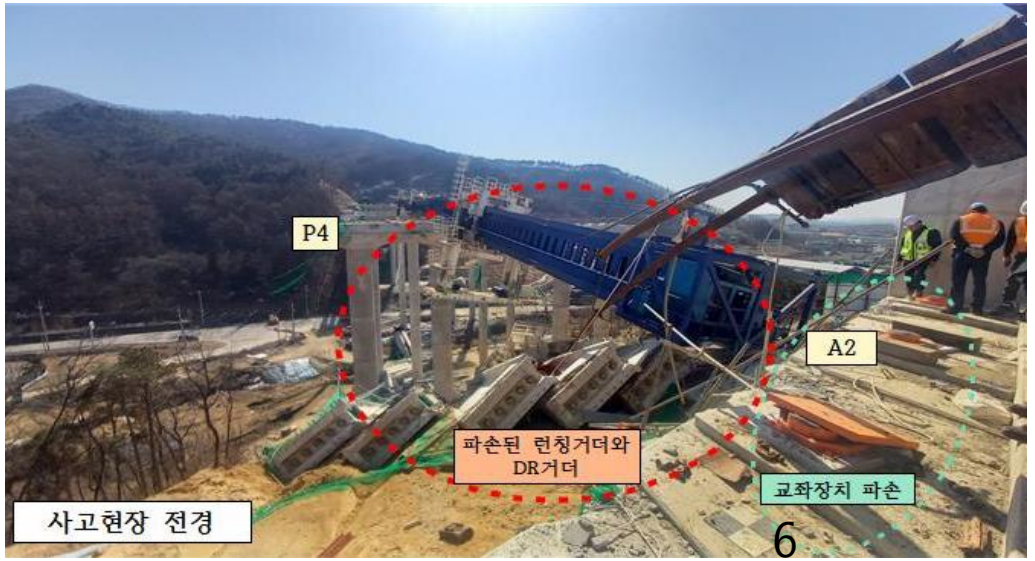
제1장 개요

사고 현장

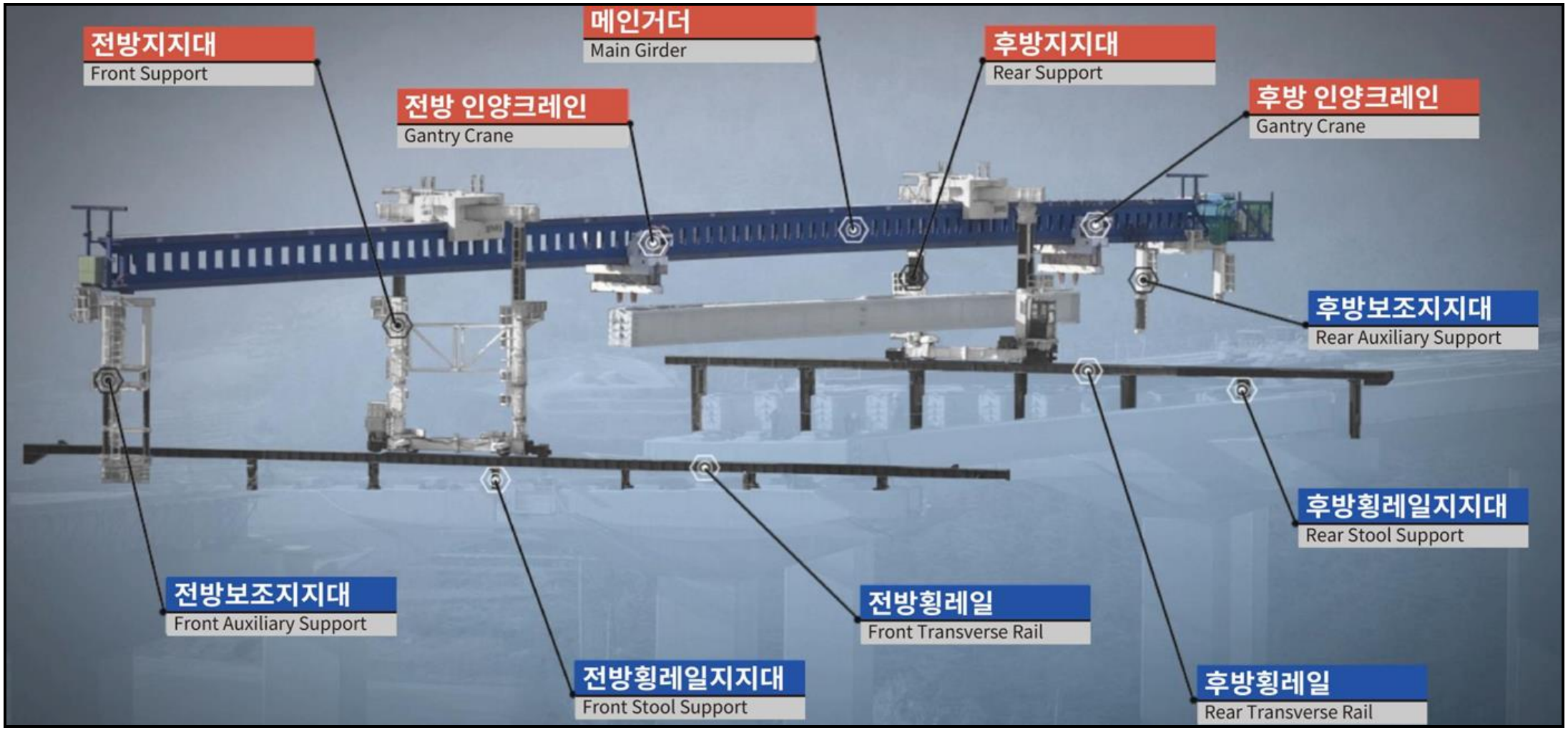

포 천
A2
P4
P3
P2
세 종
P1
DR거더 거치 전경(사고 전)


포천방향 거더설치 완료 후 Back Launching 중 P1~A2 구간에서 P1~A2구간에서 작업자 10명과 DR거더 24본이 떨어지고 런칭거더 파손
A1
P1
P2
P3
P4
A2
← 세종
포천 →
국도34호선
떨어진 DR거더 잔해
청용천교 전경(사고 후)


A2
런칭거더 기울고 거더 떨어짐
사고 중(거더 떨어짐)


P4
A2
파손된 런칭거더와 DR거더
교좌장치 파손
사고현장 전경

런처 개요도


전방지지대
Front Support
메인거더
Main Girder
후방지지대
Rear Support
전방 인양크레인
Gantry Crane
후방 인양크레인
Gantry Crane
후방보조지지대
Rear Auxiliary Support
후방횡레일지지대
Rear Stool Support
전방보조지지대
Front Auxiliary Support
전방횡레일
Front Transverse Rail
전방횡레일지지대
Front Stool Support
후방횡레일
Rear Transverse Rail

제1장 개요

사고 전개



1) 2024.10. 거더가설용 박스형 런처 공사 시작

2) 2024.11. 박스형 런처로 거더가설 시작(A2→P4→P3→P2→P1→A1 순)

3) 2025.01.17. A2→P4, P4→P3, P3→P2 경간 전도방지용 스크류잭 72개 제거 (A2앞 낙하4개 고려)

4) 2025.02.06. 박스형 런처로 거더 설치완료(P1→A1 경간)

5) 2025.02.19. 박스형 런처 전방과 후방 횡레일 일부제거, 교각연결체 스툴(Stool) 전체 제거

6) 2025.02.20. 박스형 런처 지지대가 설치된 거더를 밟고 후방이동 시작

7) 2025.02.25. 박스형 런처이동 중 런처 지지대 밑에 침목과 철판을 이용하여 런처의 수평 유지,
후방보조지지대 우측편 들뜸 발생 후, 후방지지대의 좌우 실린더 높이를 조정하는 과정에서
박스형 런처의 메인거더 비틀림 발생 후 후방 보조지지대 좌측편 하중 증가 등에 의해 거더가
전도되면서 가로보 철근으로 연결된 거더 붕괴

제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

건설기술 진흥법 안전관리계획중 가설구조물에 대한 고용되지 않은 기술사 확인 미흡

검토항목	관련법령	적용내용
안전 관리 계획	제62조 (건설공사의 안전관리)	가설구조물의 구조적 안전성을 확인하기에 적합한 분야의 「국가기술자격법」에 따른 기술사(이하 "관계전문가"라 한다)에게 확인을 받아야 한다.
	시행령 제101조의 2 (가설구조물의 구조적 안전성 확인)	4. 동력을 이용하여 움직이는 가설구조물 2. 해당 가설구조물을 설치하기 위한 공사의 건설사업자나 주택건설등록업자에게 고용되지 않은 기술사일 것

산업안전보건법 가설구조물에 대한 위험성 평가, 안전인증, 중량물 취급작업 미흡

검토항목	관련법령	적용내용
위험성 평가(안전관리자)	제36조(위험성 평가의 실시)	① 건설물, 기계, 기구, 설비 그 밖의 업무로 인한 유해 위험요인을 찾아내어 허용가능 범위 평가
안전인증	제84조(안전인증)	① 고용노동부 장관이 실시하는 안전인증 받아야 한다.
안전조치	제38조(작업계획서 작성)	작업 계획서를 작성하고 중량물 취급 작업에 대한 계획

제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

DR 거더 제작 및 가설 시공계획서



1. 트롤리 상차



2. 거더인양 및 전방크레인 연결



3. 전방인양 및 후방크레인 연결



4. 거더 인상 및 거치위치 운반(좌우이동)

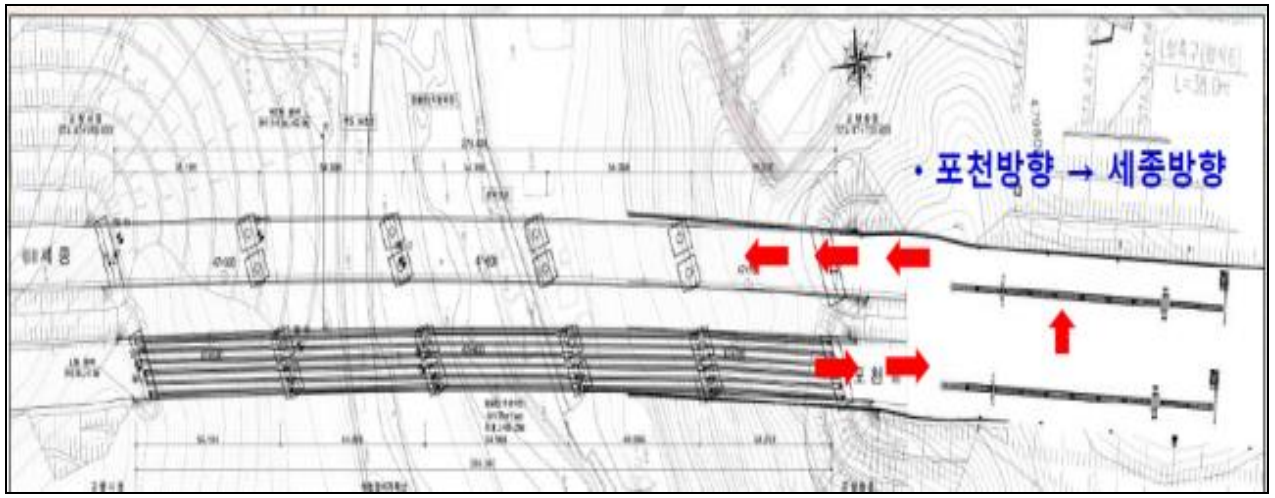


5. 거더 수직도 확인 및 교좌장치에 거치



6. 전도방치시설(전도방지 와이어) 설치

DR 거더 박스형 런처 운전 계획

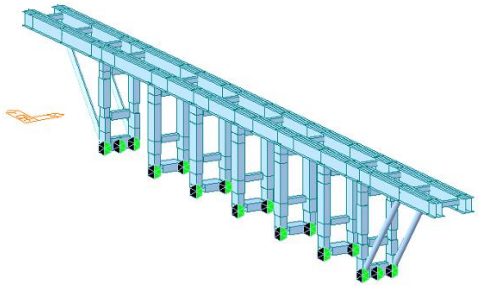


- 산업안전보건법상 안전인증서에 후방이동작업에 대한 내용은 없음.
  - 제작년도 : 2019년
  - 안전인증 형식 : SJBL2060
  - 안전인증 심사 및 승인 전문기관 : 한국승강기안전공단
  - 런처인증 기종 : 기타 크레인
  - 런처 총중량 : 370톤
  - 런처 자체 중량 : 170톤
  - 런처 인양 중량(최대) : 200톤

제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

런칭 공법 검토(안전관리계획서 등)

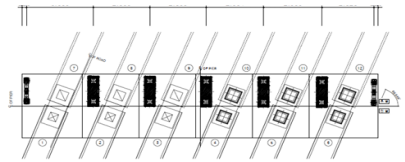
- 거더 가설시 단계별 구조검토서 제출
- 곡률 및 사각 고려되지 않은 2D 검토
- **전진의 역순으로 후방이동 언급**

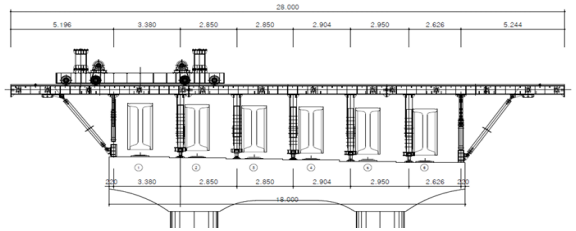


청용천교

전 · 후방의 횡레일, 스틀, 강봉 구조검토서

2023. 07.



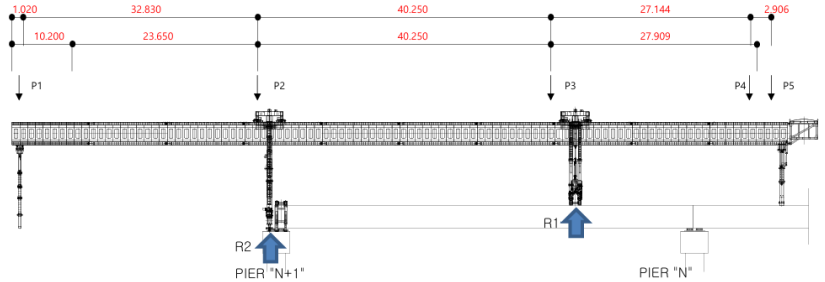


(주) 장 헌 산 업

[횡방향 스틀 검토]

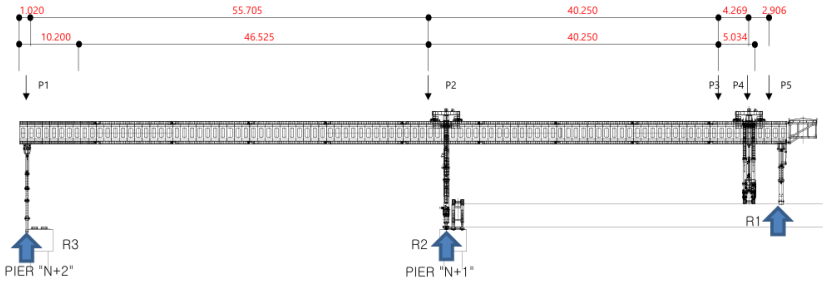
[교각위 1지점 지지, 거더 중앙지지]

8) STEP6-1 반력(메인거더 전진 전)

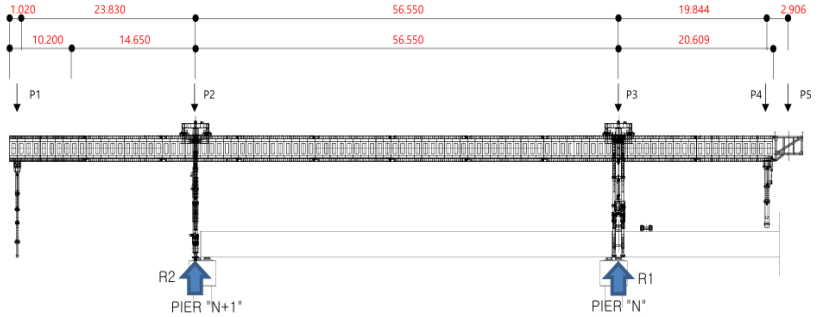


[1경간 셀프런칭 지지, 교각위 1지점 지지]

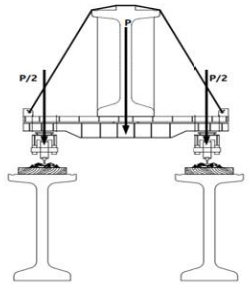
11) STEP7-1 반력(후방지지대 35m 전진 전)



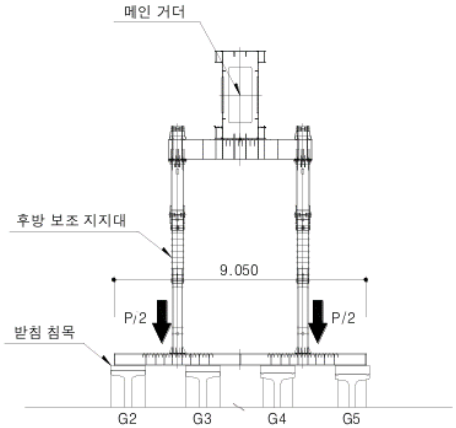
[교각위 2지점 지지]



[트롤리 운행]



[횡방향 거더 하중 재하]

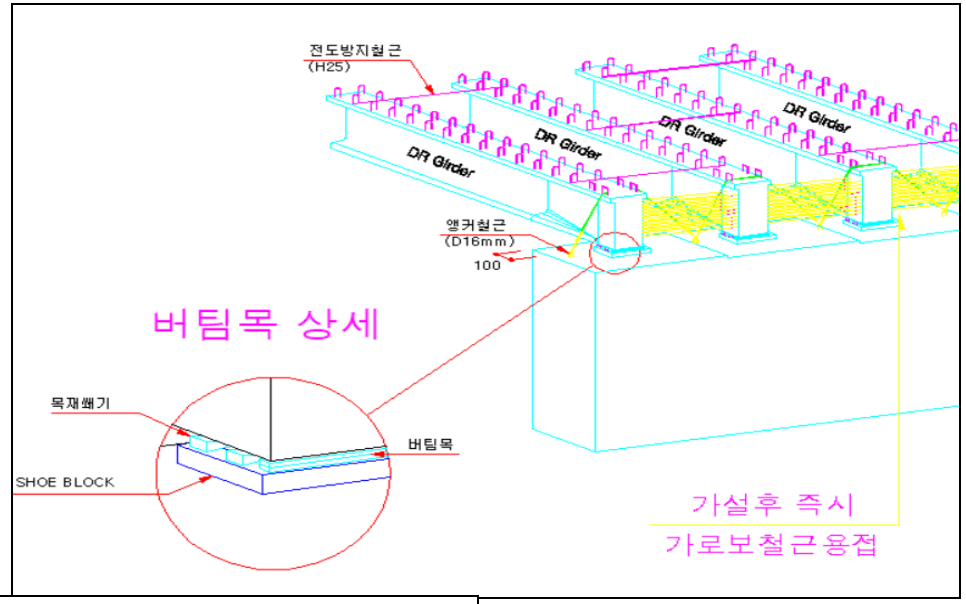


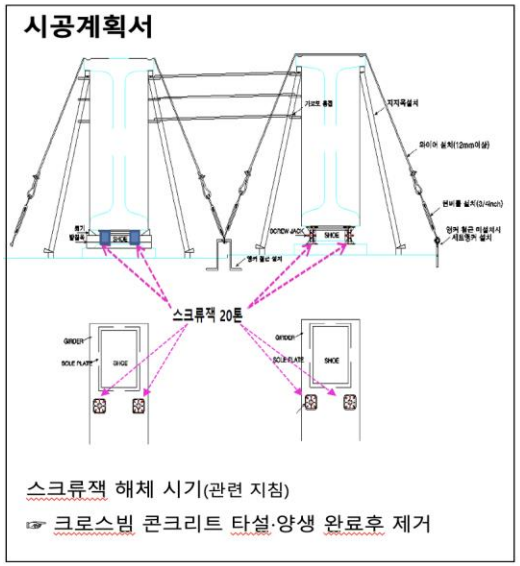
<후방지지대 하중 재하도>

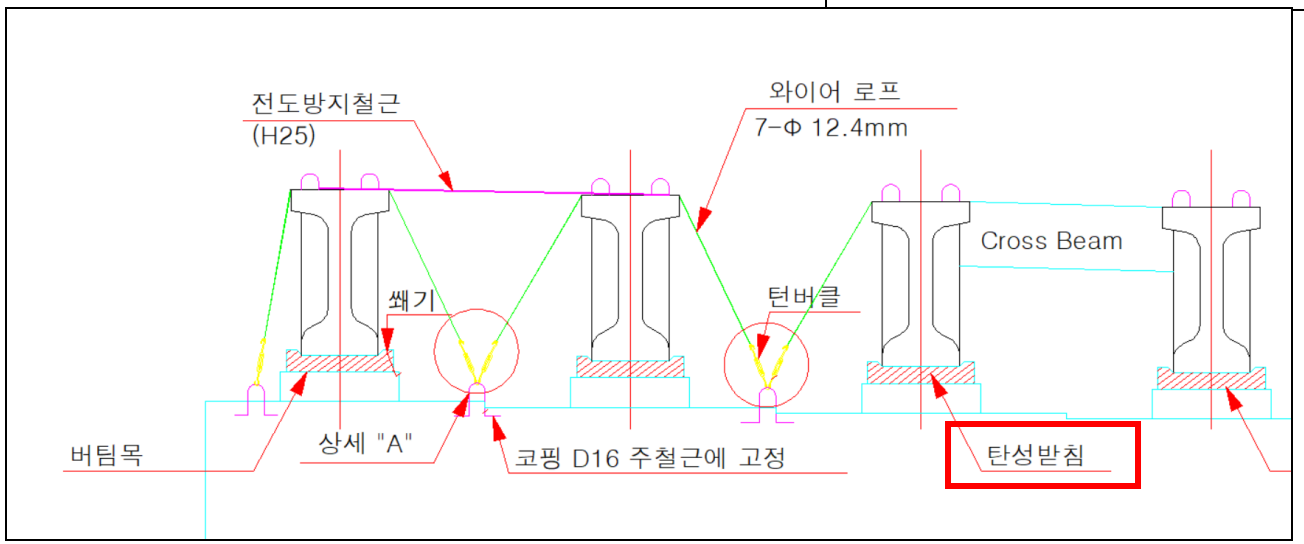
제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

전도방지대책

- 전도방지시설 설치 오류
  (버팀목 및 목재 쐐기 누락)
- 스크류 잭 설치 오류
- 사교 고려한 계획 미흡
- 도면에 탄성받침 오기 표시

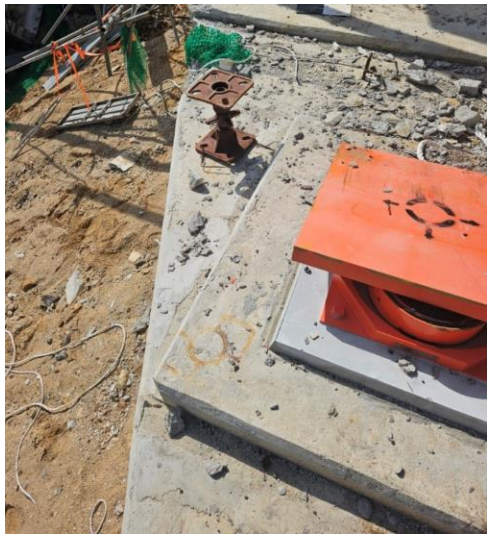








현장사진(교대 A1)



현장사진(교대 A2)

제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

검측 매뉴얼 상시검측 공종

- WP 시공자가 검측 공종. (가설 구조물)

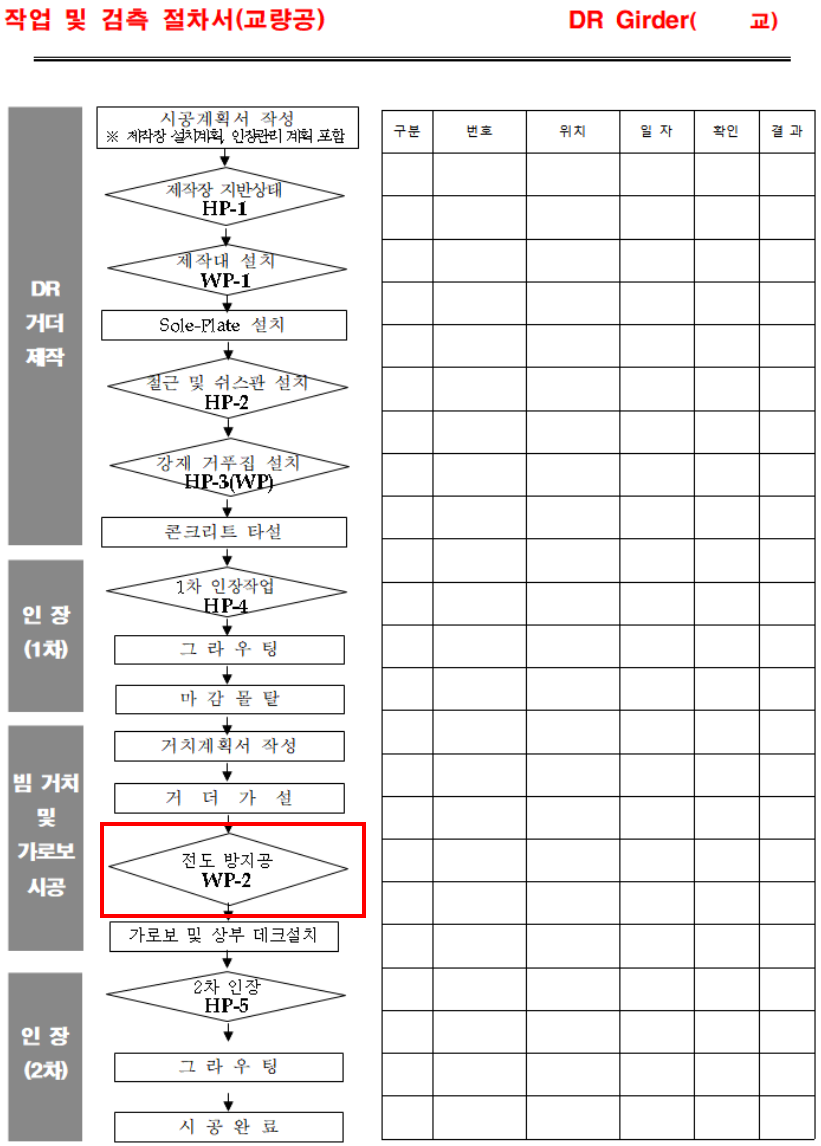
- HP 발주자가 검측 공종. (건설사업관리 기술인, 발주청 검측)

9. '상시검측 (Witness Point : WP)' 이라 함은 감독원(건설사업관리기술인)이 상시 확인하는 사항으로 감독원(건설사업관리기술인)이 입회하지 않더라도 시공자가 해당 작업에 검사, 입회하여 작업을 진행할 수 있는 검측사항을 말하며 다음의 공종에 해당된다. <개정 2011.3.17, 2016.11.22>

가. 필수검측 대상공종 외 단순반복 공종

나. 구조검토를 필요로 하지 않으며 사후 확인이 가능하고 중요성이 떨어지는 공종 <개정 2011.3.17>

- 시공자가 해당 작업에 검토 입회하여 진행할 수 있는 검측 공종.

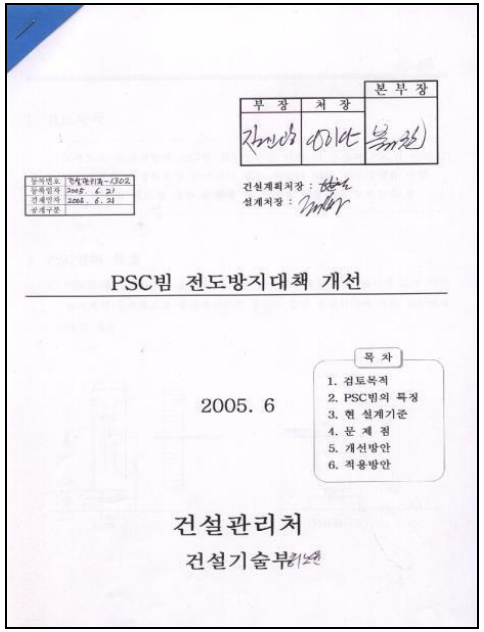


제2장 관련법령, 설계 및 시공도서 검토

전도방지대책 검측 (W P)

- 검측업무 매뉴얼 수립
- 2005년 PSC빔 전도방지대책 개선
- 전도방지시설 무단 해체

※ 한국도로공사(건설관리처) PSC빔 전도방지대책 개선(2005년)



본 부 장 / 부 장 / 처 장

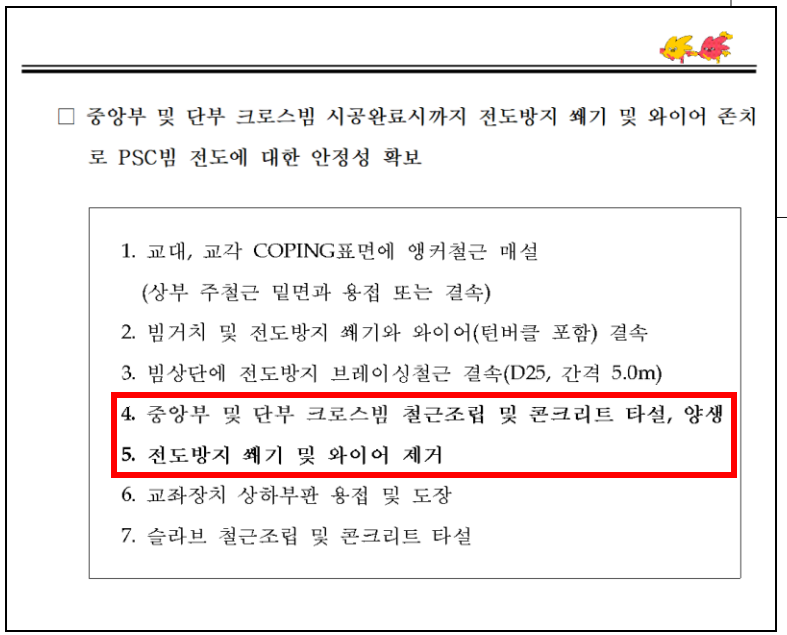
건설계획처장 :
설계처장 :

PSC빔 전도방지대책 개선

목 차
1. 검토목적
2. PSC빔의 특징
3. 현 설계기준
4. 문 제 점
5. 개선방안
6. 적용방안

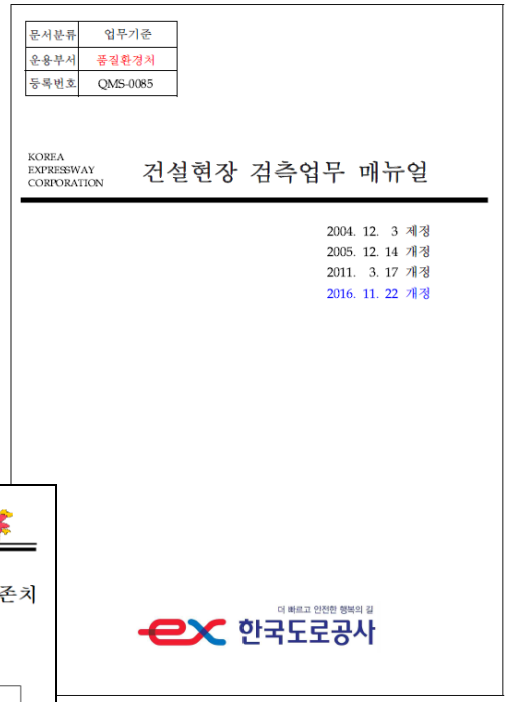
2005. 6

건설관리처
건설기술부



□ 중앙부 및 단부 크로스빔 시공완료시까지 전도방지 쐐기 및 와이어 존치로 PSC빔 전도에 대한 안정성 확보

1. 교대, 교각 COPING표면에 앵커철근 매설
(상부 주철근 밑면과 용접 또는 결속)
2. 빔거치 및 전도방지 쐐기와 와이어(턴버클 포함) 결속
3. 빔상단에 전도방지 브레이싱철근 결속(D25, 간격 5.0m)
4. 중앙부 및 단부 크로스빔 철근조립 및 콘크리트 타설, 양생
5. 전도방지 쐐기 및 와이어 제거
6. 교좌장치 상하부판 용접 및 도장
7. 슬라브 철근조립 및 콘크리트 타설



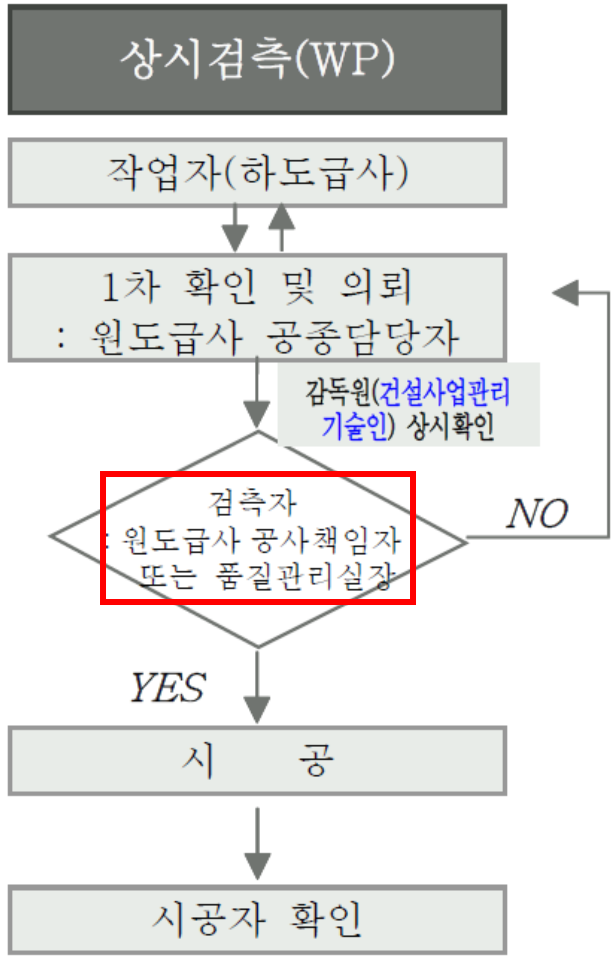
문서분류	업무기준
운용부서	품질환경처
등록번호	QMS-0085

KOREA EXPRESSWAY CORPORATION

건설현장 검측업무 매뉴얼

2004. 12. 3 제정
2005. 12. 14 개정
2011. 3. 17 개정
2016. 11. 22 개정

더 빠르고 안전한 행복의 길
한국도로공사



제3장 현장조사

거더 시료채취 및 재료시험

- 시료채취 : **총 15개소** – S3경간 9개(G1,G2, G6)
  S4경간 6개(G1, G5)
- 시험항목 : 겉보기밀도, 압축강도(변위제어)
  응력-변형률곡선, 탄성계수
- 시험결과 : 평균 코어강도 47.7MPa 〉 45.0MPa
  거더 콘크리트 강도 기준 충족



[S3-G2 코어시편 시료채취]



[코어홀 상태]

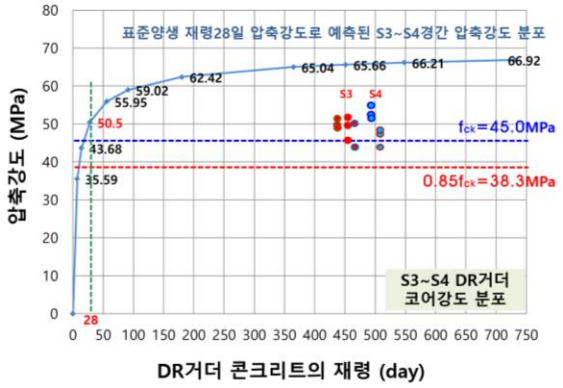


[코어시험 전 상태]

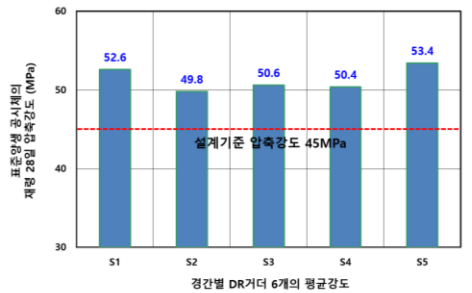




[S3-G6-#1, 코어시험 후 파괴상태]

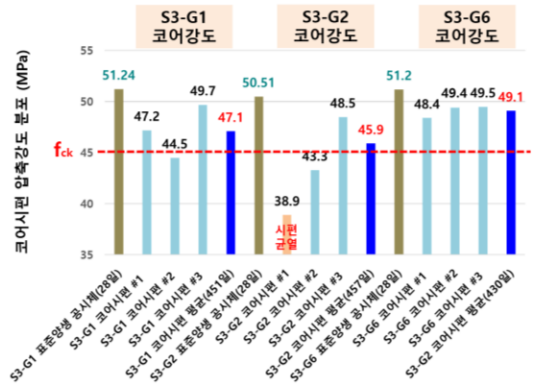


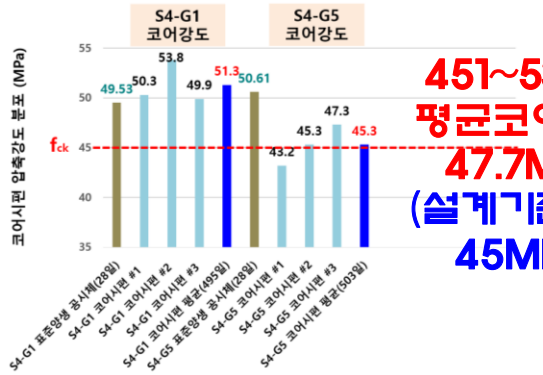
[표준양생시편의 28일 강도와
장기재령 코어강도의 비교]



28일 평균강도 49.3MPa

[표준양생시편의 28일 압축강도 분포]





451~530일 평균코어강도 47.7MPa (설계기준강도 45MPa)

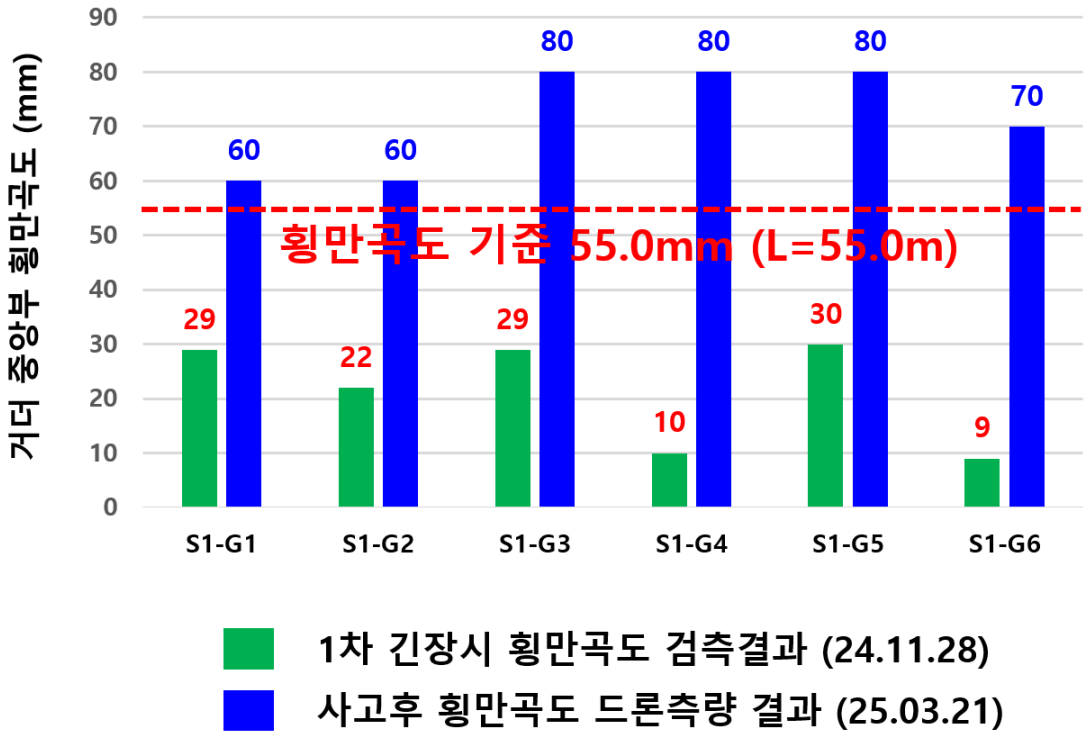
[코어시편의 압축강도 분포]

제3장 현장조사

교각 및 교대 강도평가

구 분	코어 강도(㎫)	비파괴강도(㎫)
교대 A1 (35 MPa)	28.3	36.8
	31.5	36.8
	28.9	36.8
교대 A2 (35 MPa)	39.8	37.6
	38.5	37.6
	44.5	37.6
교 각 (40MPa)		40.4~43.3

A1-P1(S1)경간 횡만곡 변화





제3장 현장조사

스크류잭 현황 및 성능평가

(성능시험 : 명지대 하이브리드구조실험센터)

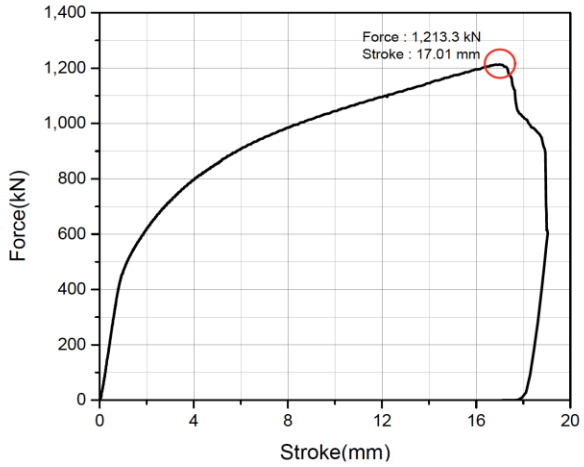
- 전도방지를 위해 20 tonf 용량 스크류잭 설치
- 가설 중 스크류잭 제거 확인
- 스크류잭 성능 실험 수행
- 중심축하중 최대 120 tonf , 편심하중 4.2tonf
  목재받침 30tonf 이후 변형증가후 75tonf 파괴



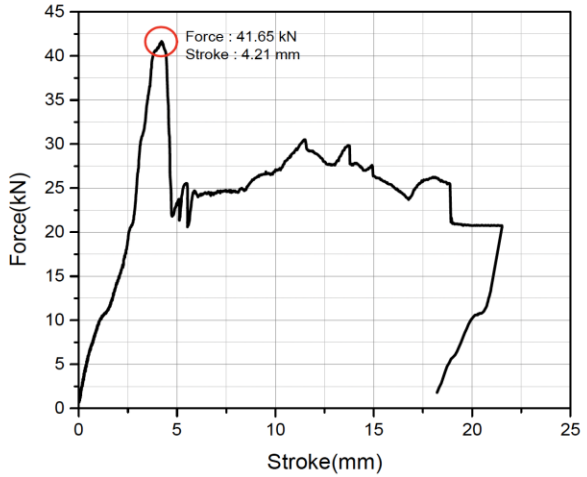




현장에서 수거된 스크류잭
(편심하중)



(중심축하중)

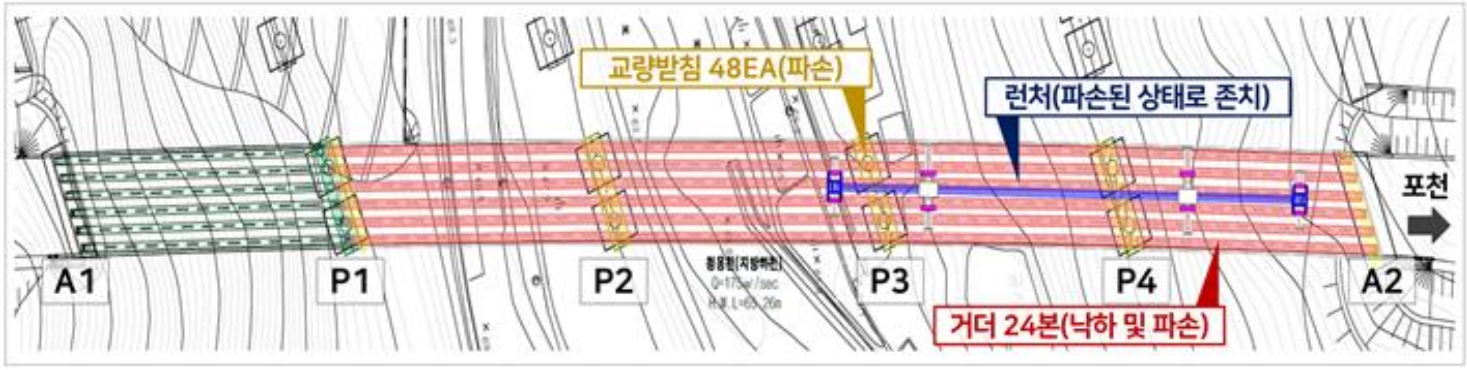


(편심하중)

제3장 현장조사

교량 받침 상태

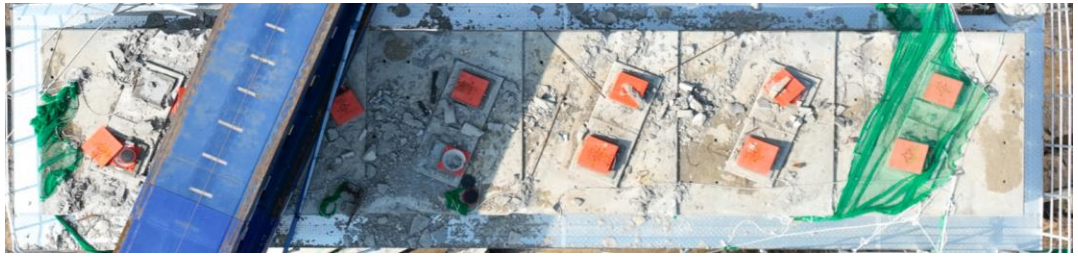
- 강재계열 펜들럼 받침 설치
- 설치후 감독원및 건설사업관리기술인 검측 확인
- 변위량 게이지 교축방향 설치 확인
- 사고후 앵커 파손 및 받침 콘크리트 파손 확인
- 받침 교체 후 보수 필요









P3	
P4	

사고 CCTV 분석 (한국측량학회) - 동영상

- 사고의 전체 과정
  - ✓ 후방지지대 길이 조정중
  - ✓ 후방보조지지대 오른쪽 들뜸 발생
  - ✓ 후방지지대 양측 실린더 작동 (길이 차이 발생)
  - ✓ 후방지지대 좌측 들뜸 발생 (후방지지대 양측 실린더 길이 차이 최대)
  - ✓ 거더 전도
  - ✓ 거더 낙하시 교각 충격 및 변위 발생



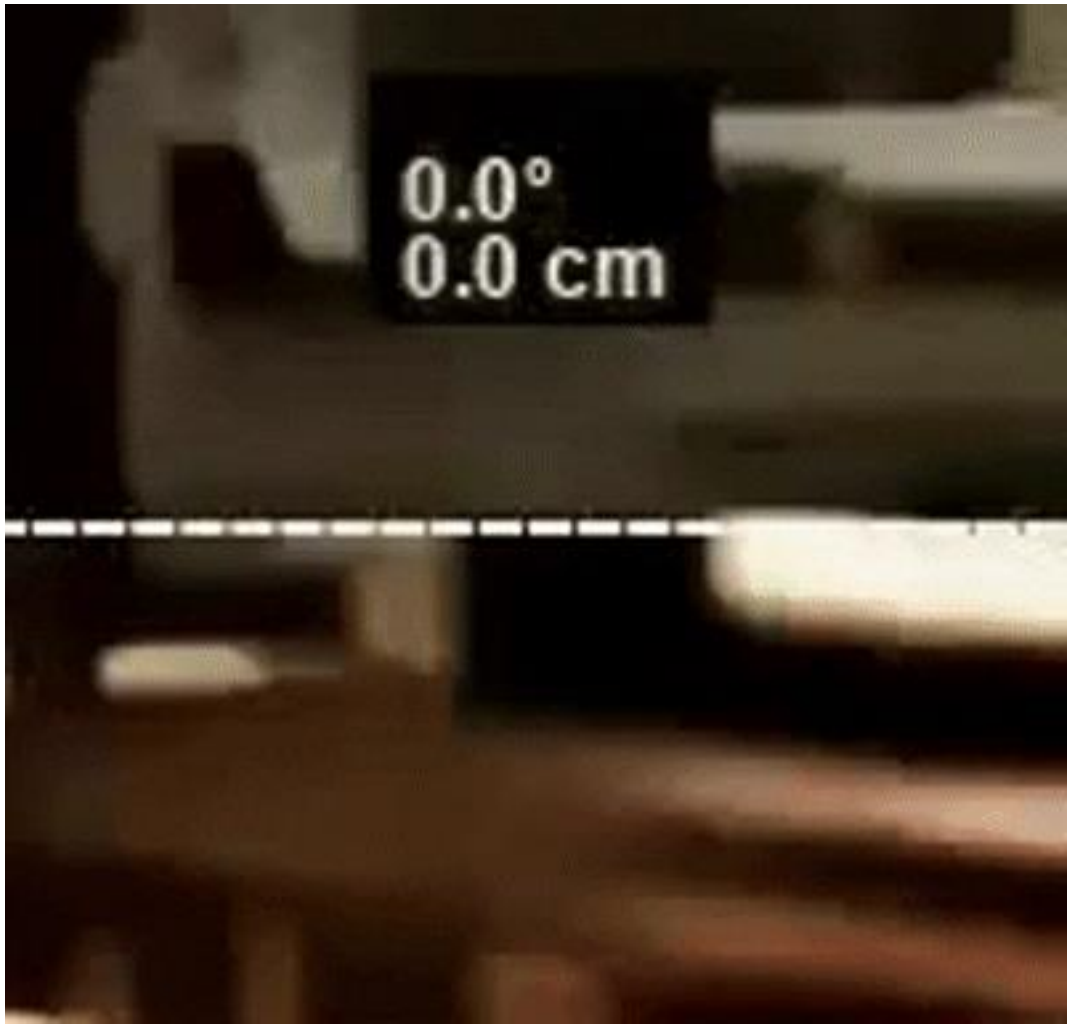
* 청룡천교 붕괴사고 요약 영상 자료

사고 CCTV 분석 (한국측량학회) - 동영상

1. 런처 후방보조 지지대 들뜸 분석

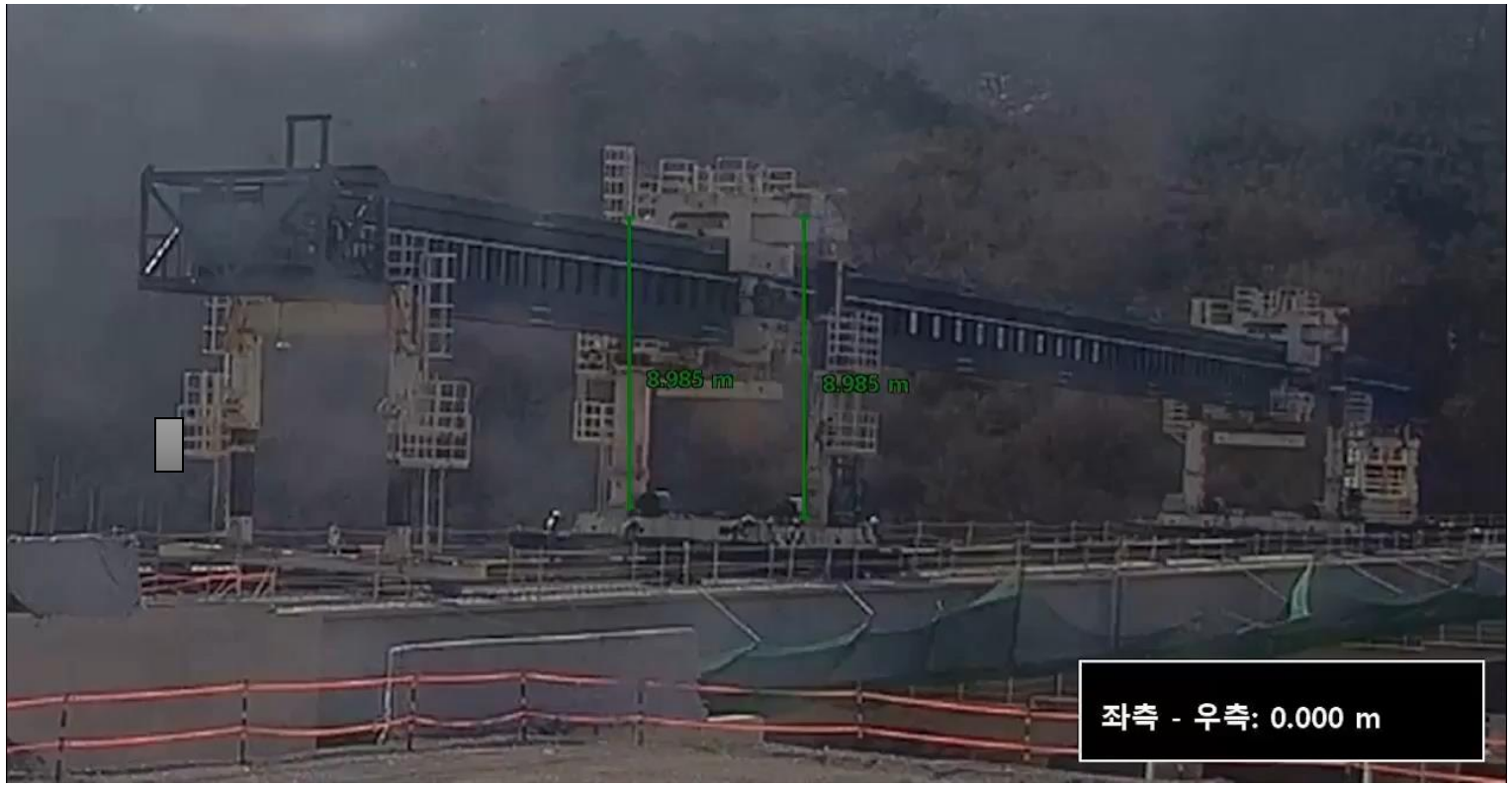


* 후방보조 지지대 들뜸 분석 영상 참고 자료 (최대 들뜸 변위가 확인된 cctv 영상자료, 약 20배속)



* 후방보조 지지대 들뜸 분석 자료 확대 영상 (최대 들뜸 변위가 확인된 cctv 영상자료, 약 20배속)

사고 CCTV 분석 (한국측량학회) - 동영상





* 후방지지대 좌우측 수직 부재 길이 변화 측정

2. 런처 후방지지대 좌우측 수직 부재 길이 변화 분석

3. 런처 지지대간 거리, 교대(A2)와 후방보조 지지대간 거리 분석

4. Transverse beam과 Moving device 위치 분석

사고 CCTV 분석 (한국측량학회) - 동영상

5. 교각(P3, P4)의 최대 변위 분석

- P3 교각



* p3 교각 변위 발생 영상 참고자료

- P4 교각

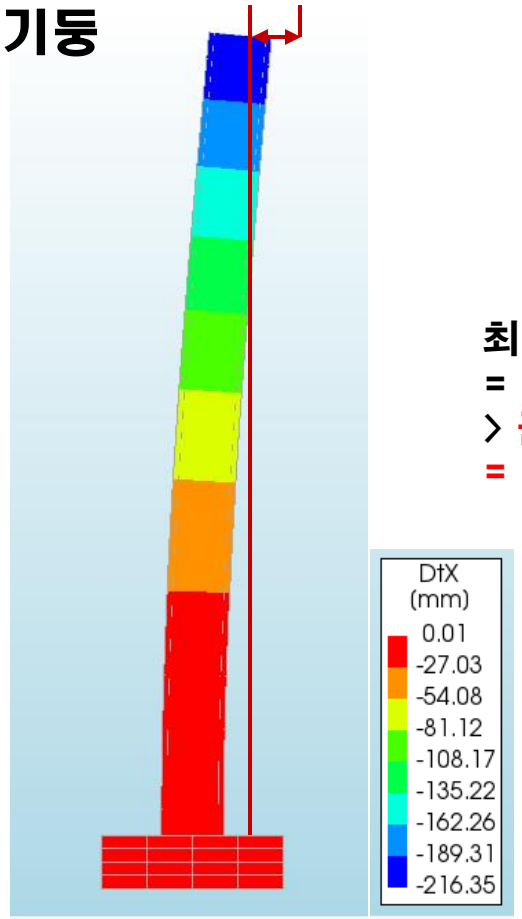


* p4 교각 변위 발생 영상 참고자료

P3, P4 교각 손상 가능성 검토 (구조해석)

최대변위 = 21.64 cm

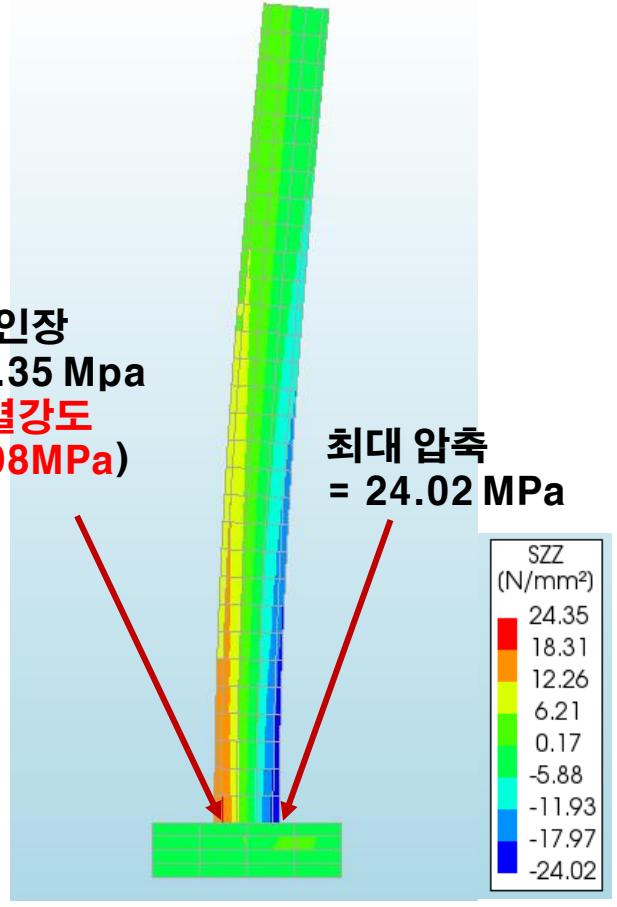
P4 기둥



최대 변위

최대 인장
= 24.35 Mpa
> 균열강도
= 3.98MPa)

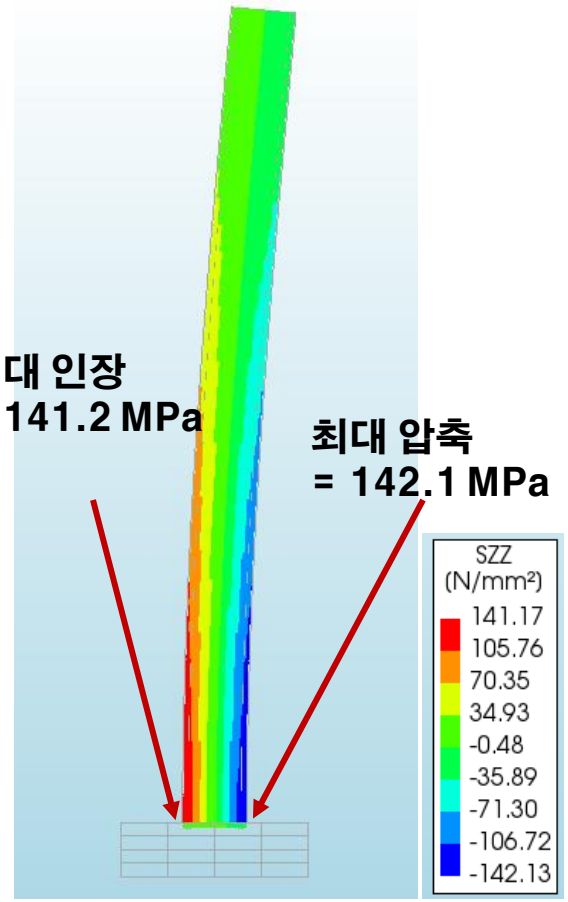
최대 압축
= 24.02 MPa



콘크리트

최대 인장
= 141.2 MPa

최대 압축
= 142.1 MPa



철근

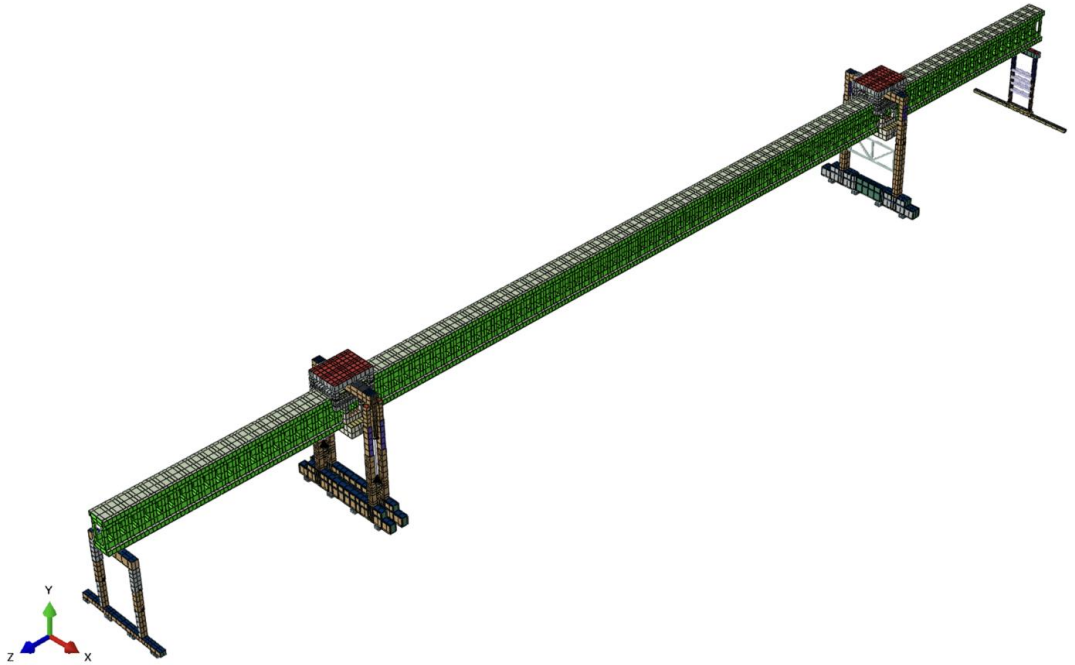
P4 기둥 최대변위 = 21.64 cm

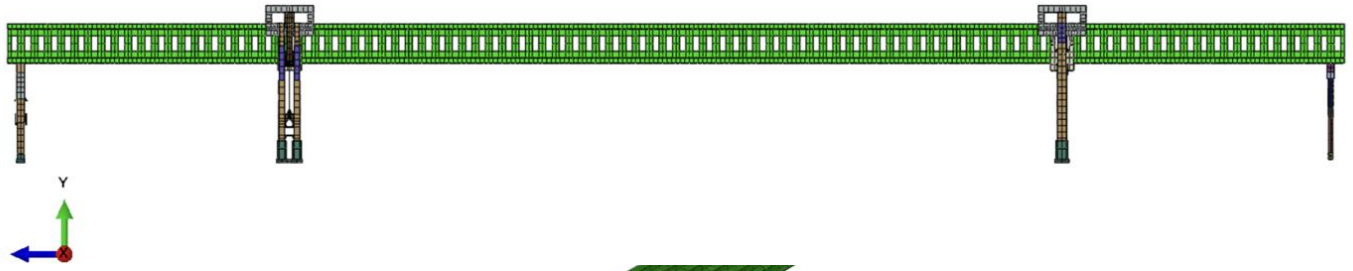
- P3 교각의 경우 충격에 의한 변위로 인해 손상이 발생하지 않았을 것으로 판단.
- P4 교각의 경우 충격에 의한 변위로 인해 하부에 **손상이 발생했을 가능성 있음.**
- 균열발생 한계기준 1/500 수준.
- 교각과 기초가 만나는 부분에 손상여부를 직접 확인하고, 손상이 있을시 보강방안 강구 필요.

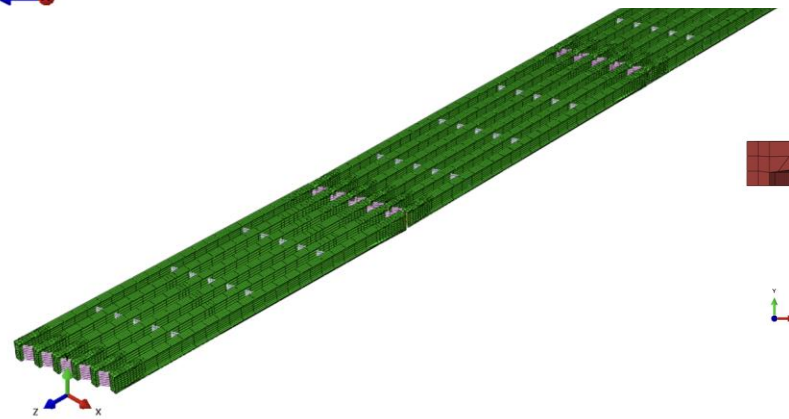
제4장 구조해석

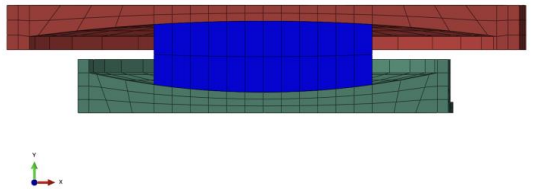
청룡천교 붕괴해석 (한국구조물진단유지관리공학회)

- 청룡천교 붕괴해석은 런처에 대한 구조해석과 콘크리트 거더의 전도해석, 두 부분으로 나누어 수행.
- 런처 구조해석을 통해 런처 하부 지지점에 작용하는 하중을 구하고, 이 하중을 다시 거더에 작용시켜 전도해석 수행.
- 영상분석 결과중 실린더의 길이변화를 런처 구조해석에 적용하여 런처의 실제 거동을 해석에 반영.
- 거더 해석시 지점부는 펜들럼 받침과 동일하게 모델링(CASE 1: 스크류잭 제거상태, CASE 2: 스크류잭 전체 설치시)
- 런처 거동 및 거더의 전도 해석에서 기하학적 비선형성 고려, Implicit method , ABAQUS 사용.







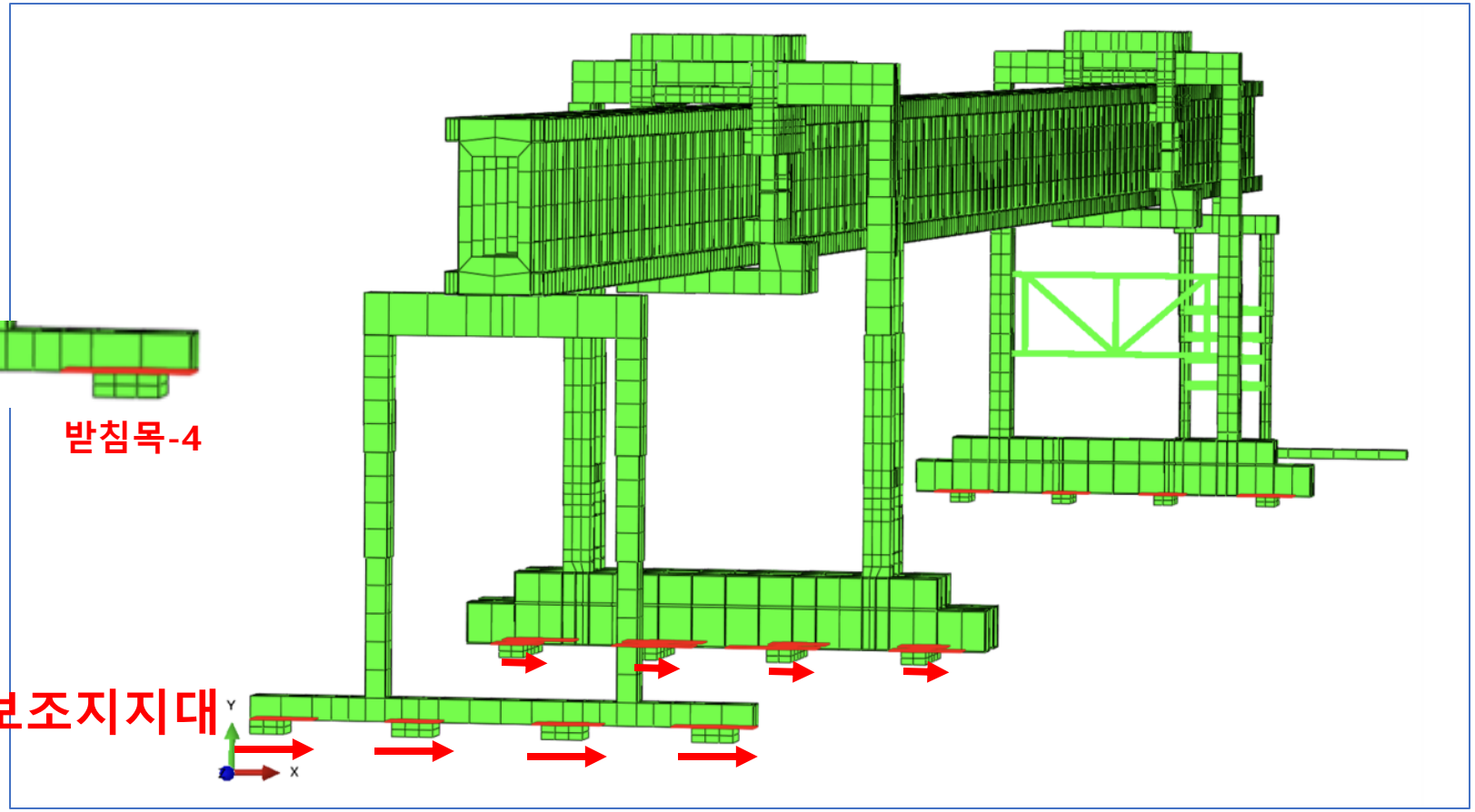


청룡천교 붕괴해석 - 런처 구조해석

- **유한요소 모델링**
  - ✓ 지지대 하부 받침목과 지지대 횡빔은 Contact 조건으로 모델링
  - ✓ 마찰계수 0.5 적용



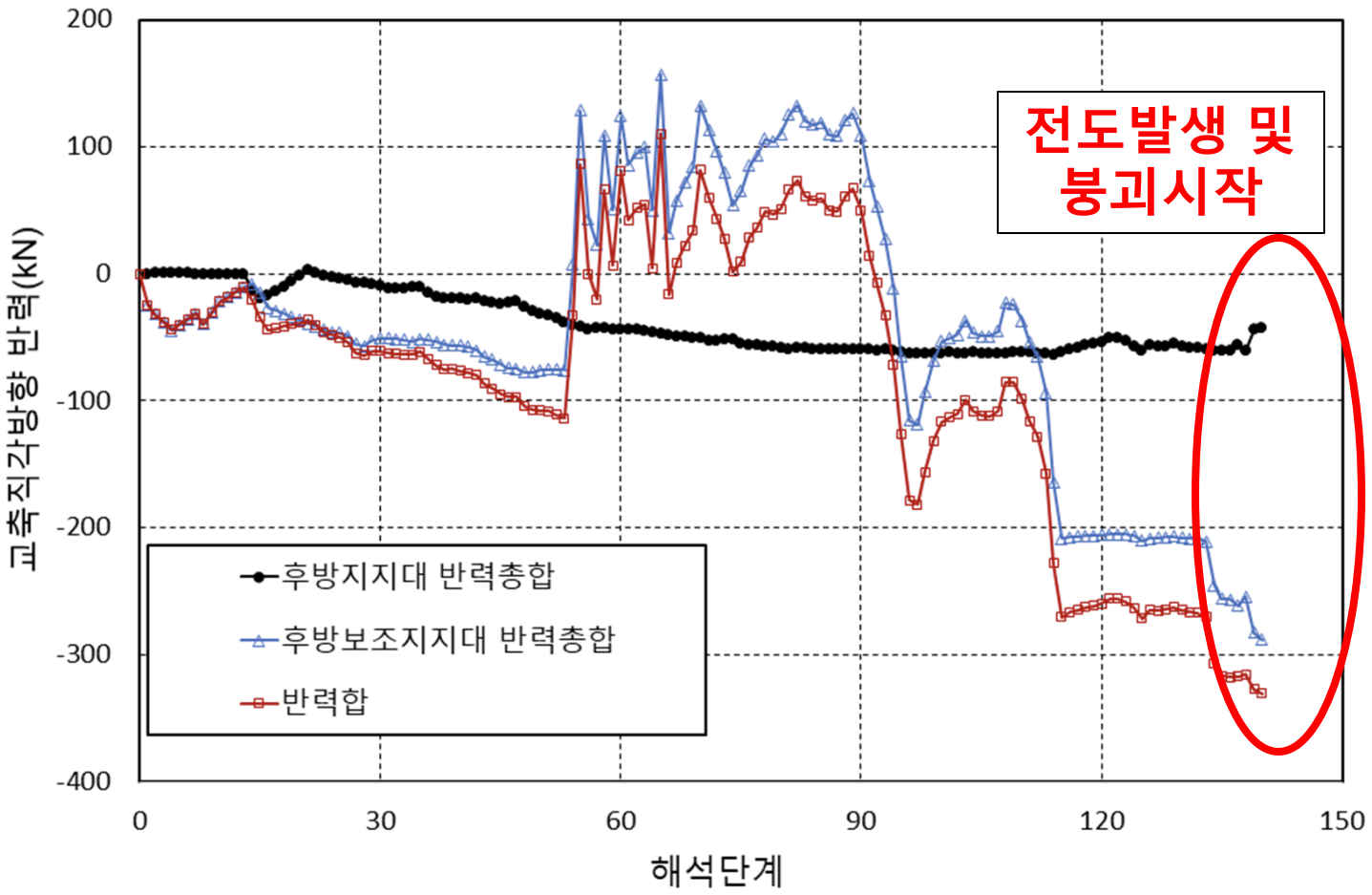
받침목-1 받침목-2 받침목-3 받침목-4



- 후방지지대 양쪽 수직 실린더 변위(길이)의 차이→ 런처 메인거더의 비틀림 발생→ 전도방향의 횡하중 발생 → 전도
- 후방보조지지대 하부 받침목에 전도방향 횡하중 29 tonf, 후방지지대 4 tonf. 총 합은 33 tonf.

청룡천교 붕괴해석 - 런처 구조해석

- 해석결과



- 거더의 전도발생 및 붕괴 시작시점에 후방보조지지대 하부 받침목에 가해지는 횡하중의크기는 29 tonf, 후방지지대의 횡하중은 4 tonf 전도발생 시점의 횡방향 **총하중**은 33 tonf

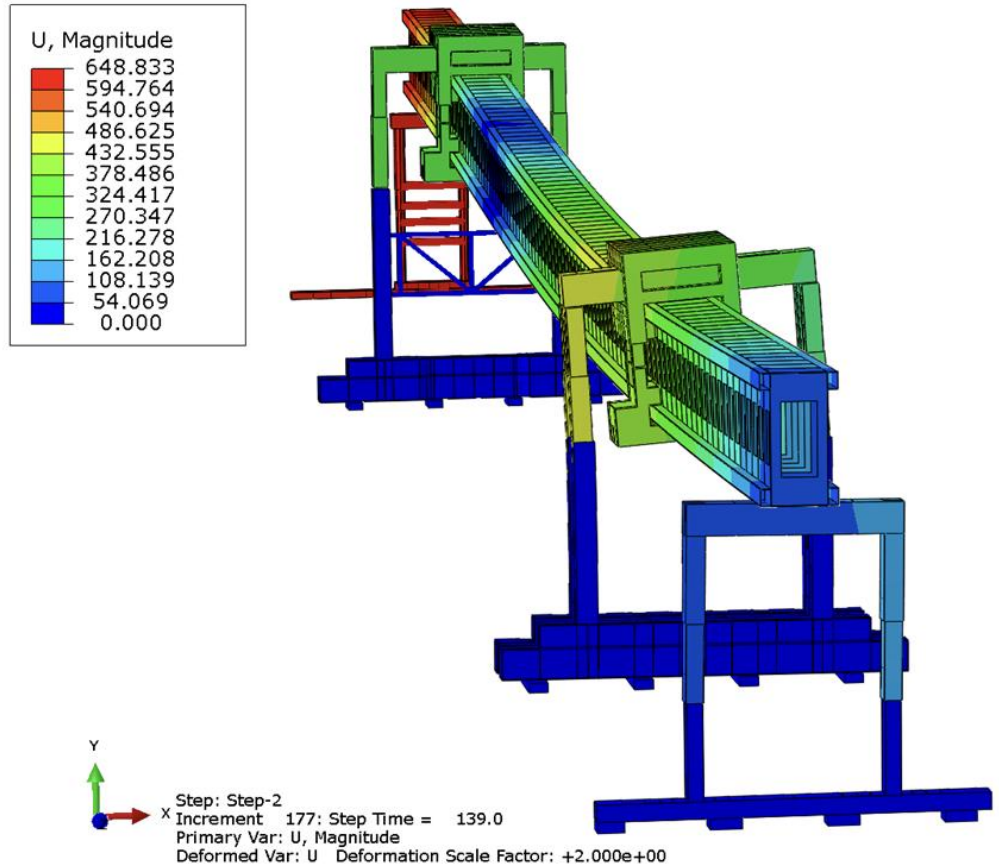
- 후방지지대 양쪽 수직 실린더 변위(길이)의 차이로 런처의 메인거더에 비틀림이 발생, 이 비틀림에 의해 전도방향의 횡하중발생

- 횡하중에 의해 거더 전도가 발생하여 교량이 붕괴에 이르게 된 것으로 판단

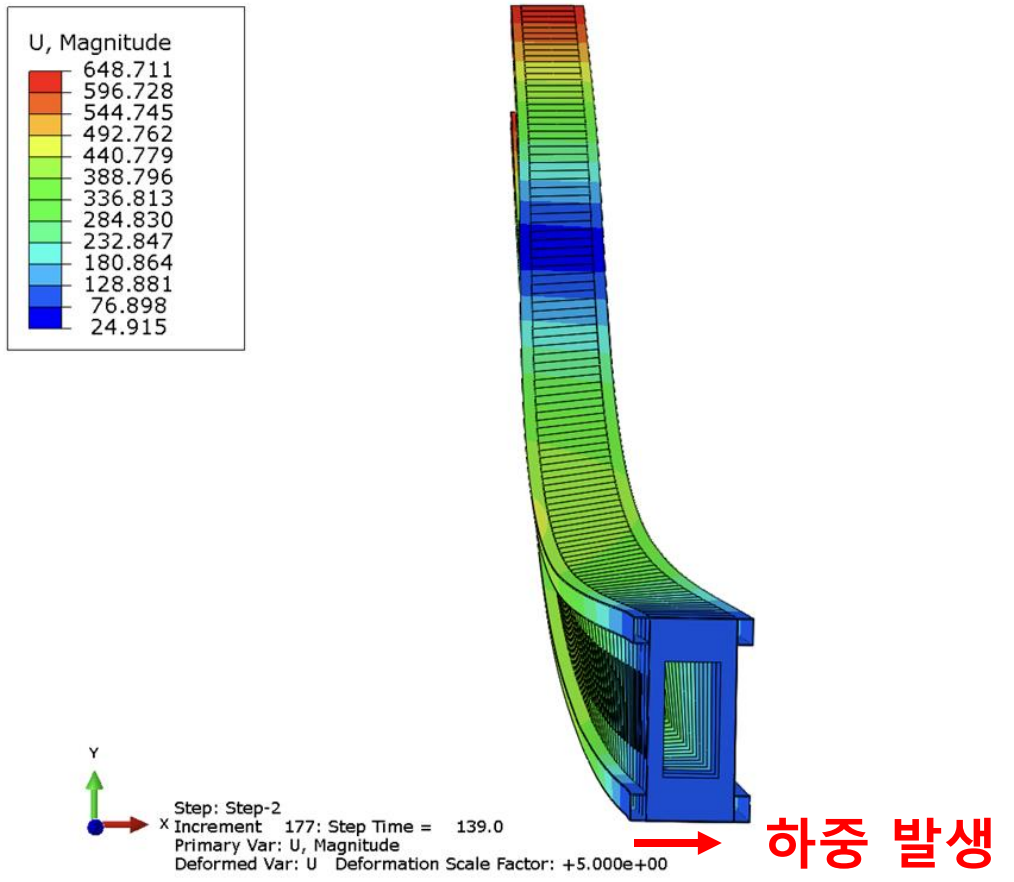
청룡천교 붕괴해석 - 런처 구조해석

- 해석결과

붕괴시점 런처 변형형상 (X2)

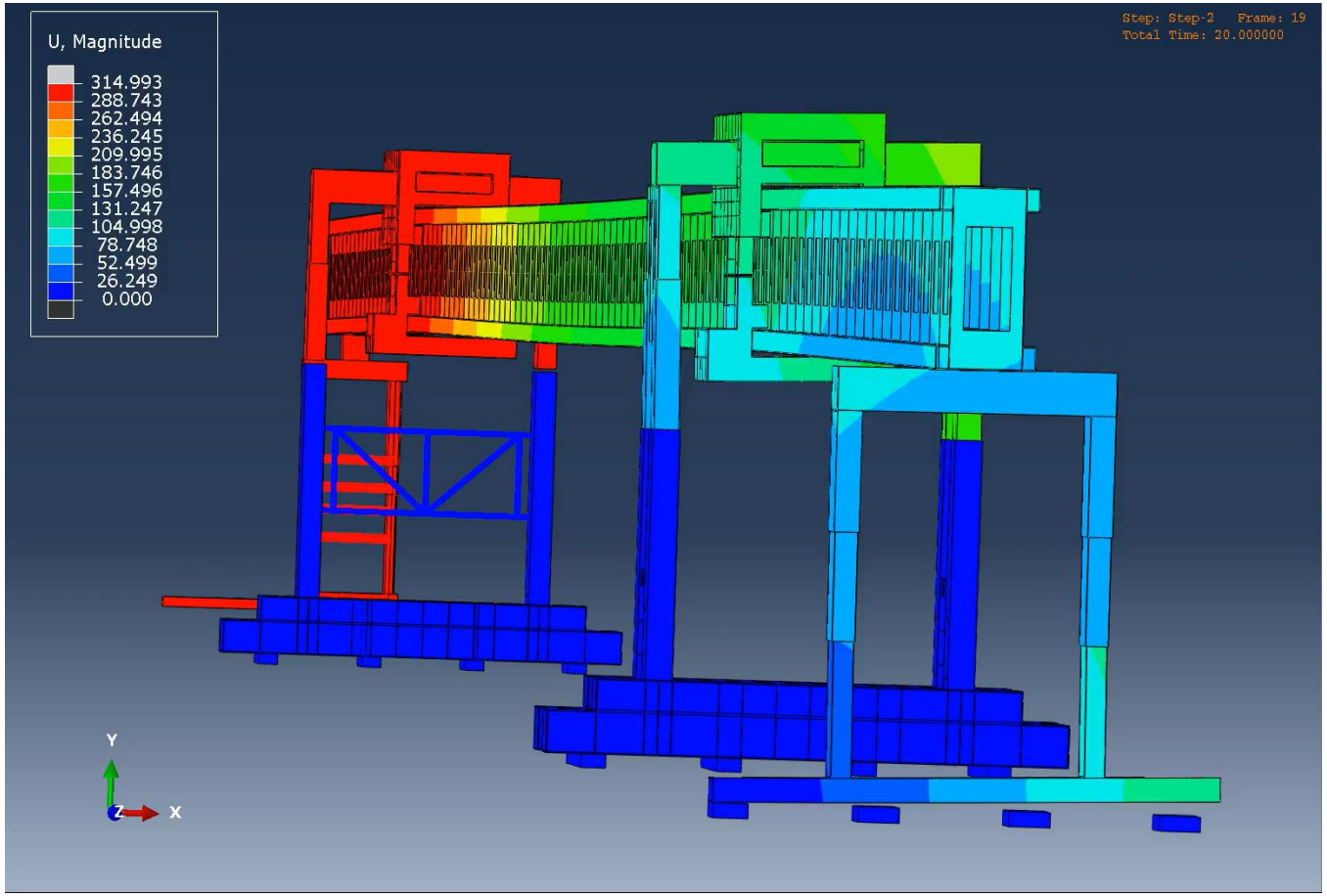


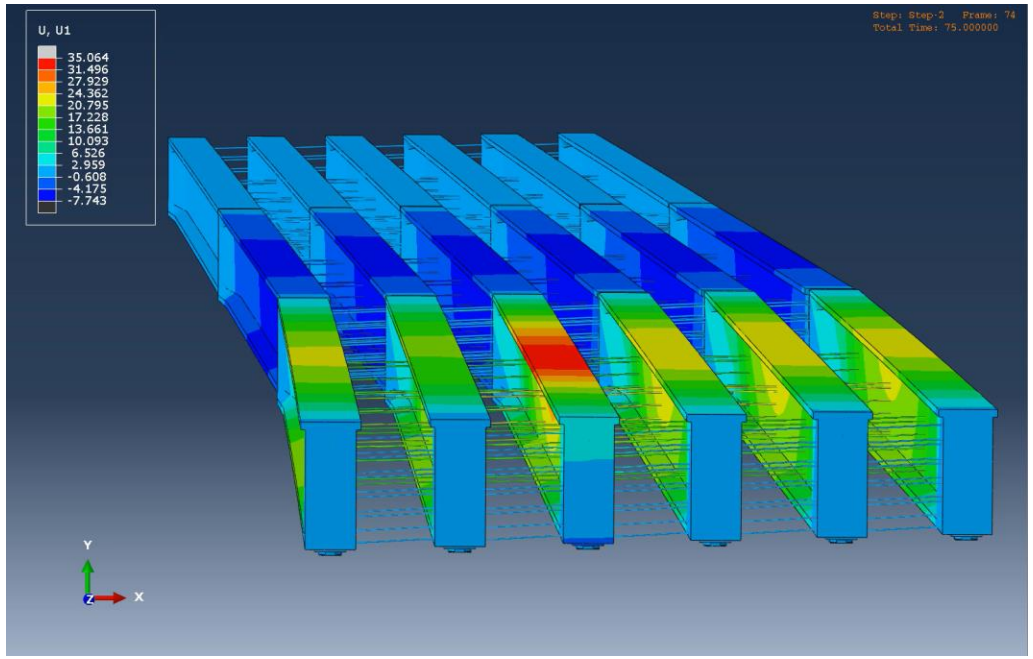
붕괴시점 런처 메인거더 변형형상 (X5)



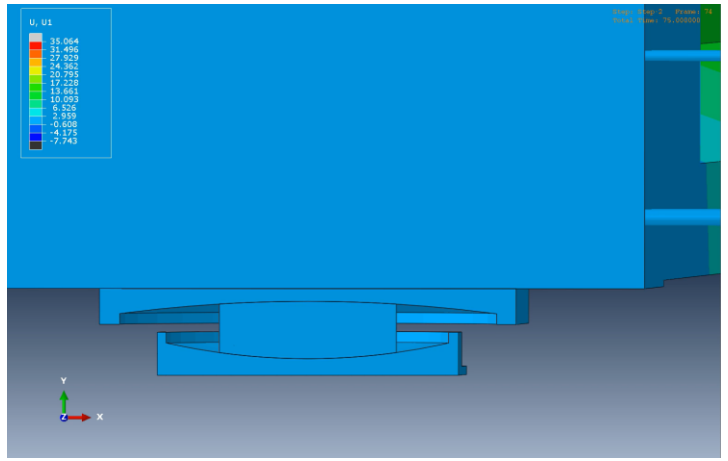
청룡천교 붕괴해석 - 동영상

- 붕괴구간 교량 해석 – 런처 동적 해석

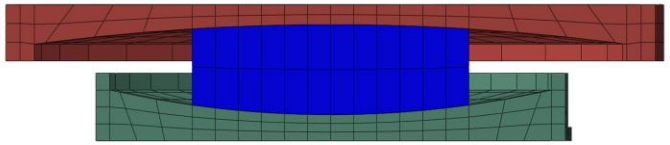




〈거더 해석 횡단면뷰〉

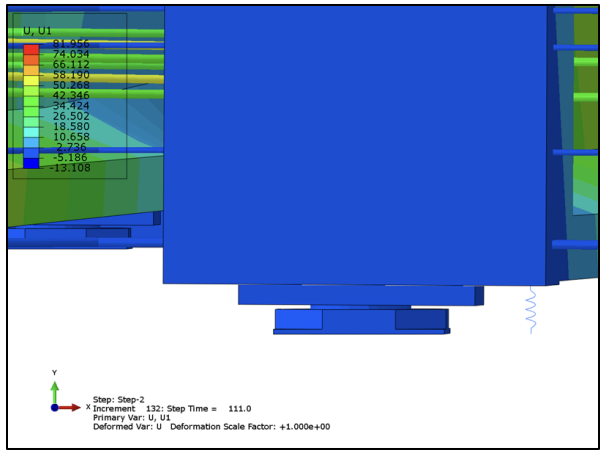


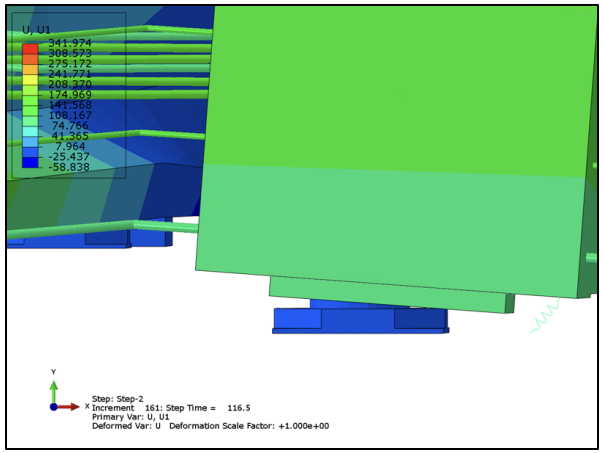
청룡천교 붕괴해석 - 콘크리트 거더 전도해석

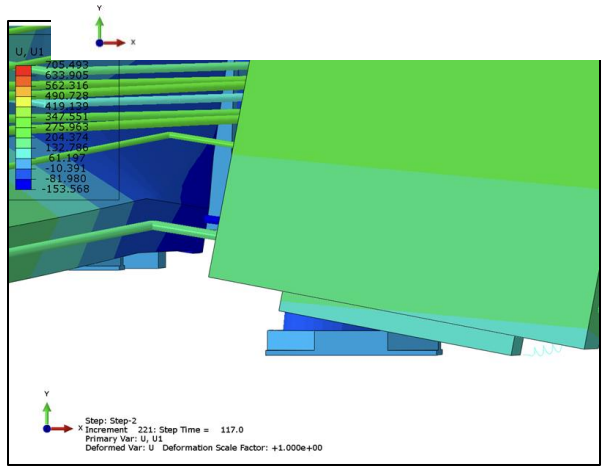


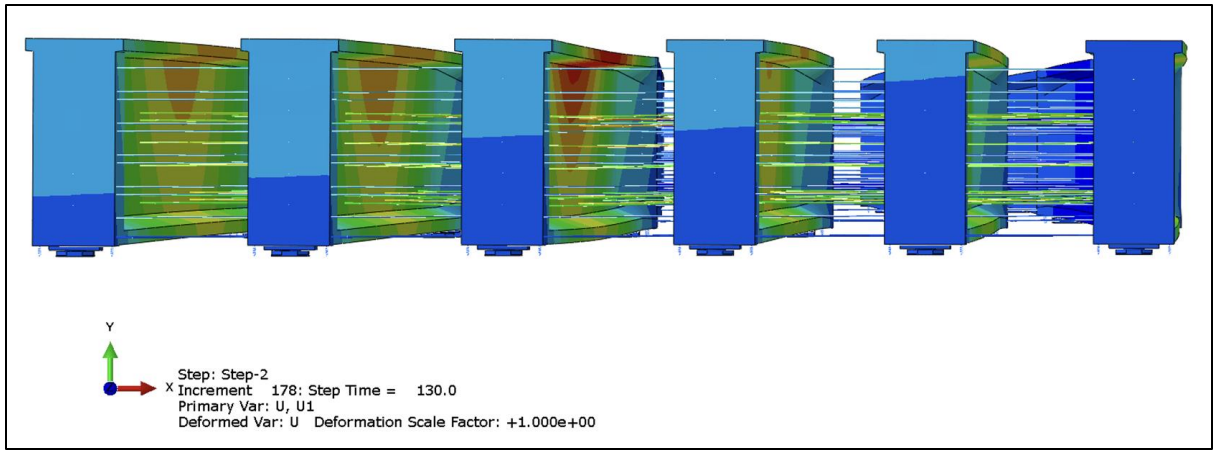
- **붕괴구간 교량 해석 – 해석결과 (CASE 1)**

  – 전도발생과정에서 교량받침 거동 변화 – 전도발생









- **해석결과 (CASE 2)**

  – 스크류잭이 철거되지 않고 모두 설치된 상황을 고려한 해석

  – 런처해석결과 얻은 최대 하중 상태에서도 전도가 발생하지 않음.

제5장 붕괴원인

직접적 원인

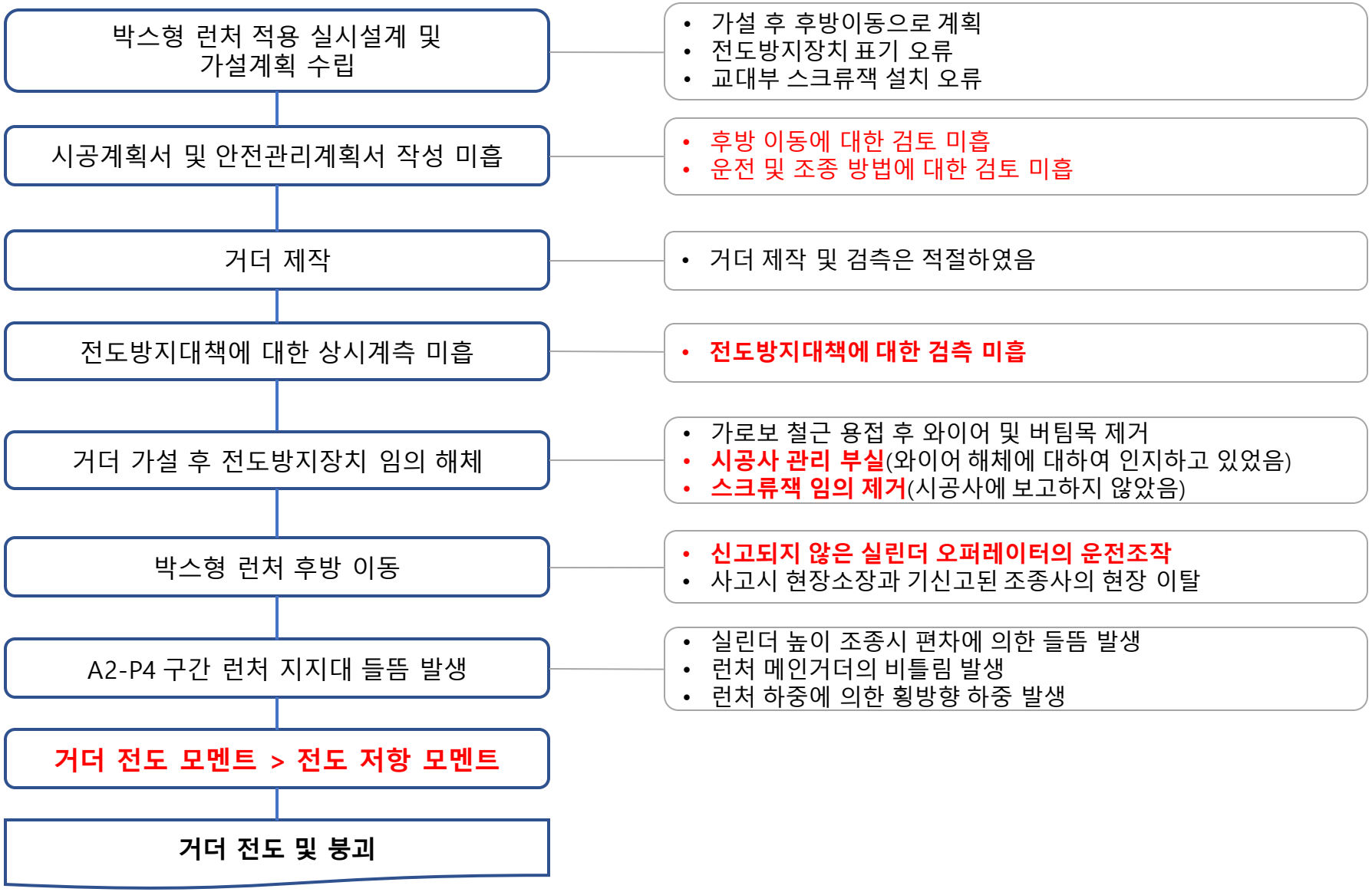
1. 전도 방지용 스크류잭 철거
2. 불안정한 상태의 거더에서 런처 후방이동
3. 런처 지지대에 의한 편심하중 발생
4. 전도 임계하중 도달 및 붕괴 발생

간접적 원인

1. 전도방지시설 검측 누락
2. 전도방지시설 해체 지침 미준수
3. 버팀목 및 목재쐐기 누락
4. 스크류잭 설치 오류
5. 교량 받침 특성에 대한 이해 및 주의부족

제5장 붕괴원인

붕괴 시나리오



제6장 재발방지대책

제도적 측면

1. 전도방지시설 설치 및 해체에 대한 시공계획서 포함 의무화

- 전도방지시설 설치시 도면과 현장요건이 상이할 경우 현장여건에 부합되는 전도방지시설 설치/해체 과정 및 시기에 대한 내용 포함하여 계획서 작성
- 전도방지시설 설치/해체에 대한 건설현장 검측업무 매뉴얼 보완 및 준수

2. 가설장비 적용시 시공단계별 시공계획서 및 안전관리 계획서 작성 의무화

3. 가설장비 인증 절차의 실효성 강화

4. 장경간 PSC I 형 거더 가설시 거더 임시받침 의무화

5. 시공사가 주도하는 시공계획서 작성 및 공법간 연계성 강화

- 주시공자가 시공과정을 이해하고 관리 감독하며, 공법간 연계성을 주도할 수 있는 계획서 작성

6. 발주청 감독자 및 건설사업관리자의 관리, 감독의 현실화

제6장 재발방지대책

설계 시공적 측면

1. 전도방지시설 개선사항

- 전도방지시설 설치시 현장여건에 부합되도록 전도방지시설 설치 계획서 작성,
  작성된 계획서에 대한 시공사와 발주청의 관리/감독 실시

2. 전도방지시설 설치/해체에 대한 현장적합성 확인(수평지지능력, 반복사용 횟수 및 기준제시 필요)

3. 연속교 설계 시공시 교량받침 개선사항

- 가설계획 및 교량 형식에 적합한 받침계획, 회전량, 활동량 검토

4. 장지간 PSC 거더교 설계 및 시공

- 횡만곡 및 솟음량 관리를 위한 플랜지 폭 확대 등의 단면과 프리스트레싱 방법의 개선

5. 횡만곡 및 솟음 관리

- 거더 제작단계부터 가로보 타설시까지 횡만곡 및 솟음에 대한 관리 및 제어 대책 수립 필요

제6장 재발방지대책

건설장비 측면

1. 런처에 대한 장비 및 조종사 재해방지 대책

- 기타크레인으로 관리되어 조종사 교육과 관리에 취약함

2. 법규 보완과 병행하여 크레인 전문 인력의 적소 배치

3. 고위험 크레인 풍속계 및 CCTV 카메라 설치 권고

- 저장 기능이 있는 CCTV, 풍속계 설치 의무화로 실시간 확인 및 분쟁의 소지 예방

4. 런처의 위험성 평가 결함 보완 조치

- 작업 단계별 유해위험 요인을 파악하는 위험성 평가 수행 필요

제7장 결언

1. 청용천교 사고는 거더 전도를 방지하는 **스크류잭의 임의 해체와 안전인증을 받지 않은 런처의 후방이동작업, 상시검측의 불성실 등에 기인함.**
2. **P4교각의 경우 정밀진단 후 거더의 보수보강 또는 재시공 여부의 결정** 예정.
3. **A1-P1 지간의 6개 거더는 현장 드론 측량결과 허용 횡만곡량을 모두 초과하였기 때문에 공사 재개후 정밀 측량이 필요하며, 횡만곡량 측정 후 거더 최외측 응력상태에 따라 사용 및 재가설 여부 결정**
4. **장지간 PSC 거더와 고효율의 펜들럼 받침, 그리고 공중가설이 가능한 런처의 사용은 앞으로도 계속 확대**될 수 있는 공법임.
5. 안전관리계획과 설계안전성 평가 등에서 **발주청, 설계사, 시공사, 감리사 및 하수급사가 같이** 공정을 **처음부터 끝까지 단계별로 시뮬레이션하고** 이를 통해 **계획과 평가가 이루어질 수 있는 체계**로 변환 필요.
6. **위험요인 발견과 공학적 대책 등의 위험도 감소대책을 마련**하는 것 뿐만 아니라 하수급사의 말단 기술인력도 **작업중지권 등**을 발동할 수 있는 현장작동성을 갖는 **안전관리체계로 개선 필요.**