

데크플레이트 붕괴사고 사례 및 안전대책

2019. 11

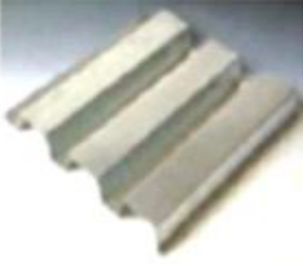
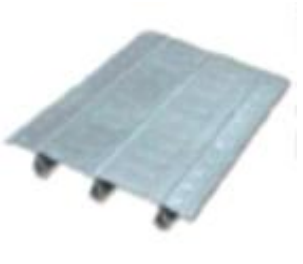
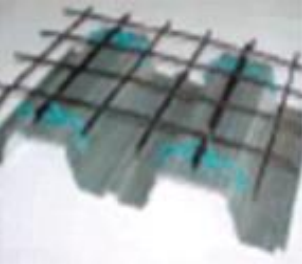
차 례

I . 데크플레이트(Deck Plate)란?	2
II . 데크플레이트 관련 사고 현황 및 분석	4
III . 데크플레이트 붕괴사고 사례	6
IV . 데크플레이트 설계, 시공단계의 문제점 및 개선방안	24

I. 데크플레이트(Deck Plate)란 ?

아연도금 강판, 선재 등 강재류를 요철 가공한 것으로써 바닥구조에 사용하는 성형된 판으로 면외 방향의 강성과 길이 방향의 내 좌굴성을 높게 만든 건설용 자재를 말한다. 종류로는 거푸집용과 구조용이 있다.

○ 데크플레이트 분류

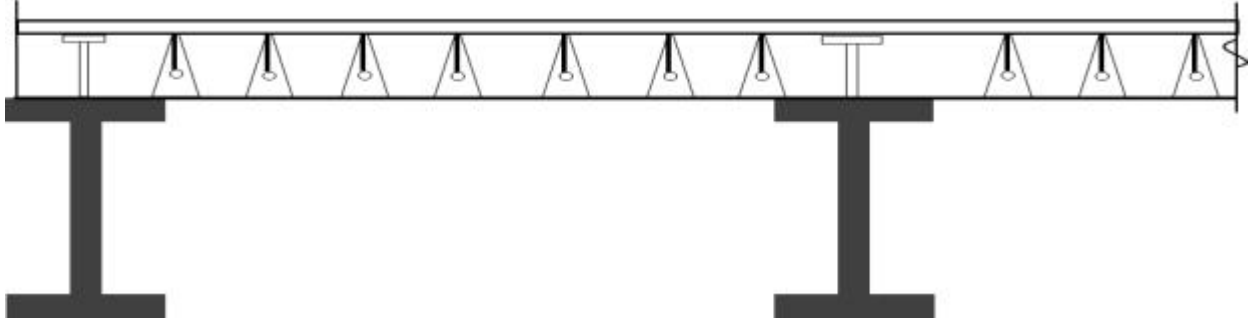
거푸집용 데크플레이트		구조용 데크플레이트	
			
골형 데크플레이트	평형 데크플레이트	합성 데크플레이트	철근 트라스형 데크플레이트

○ 데크플레이트 시공 순서

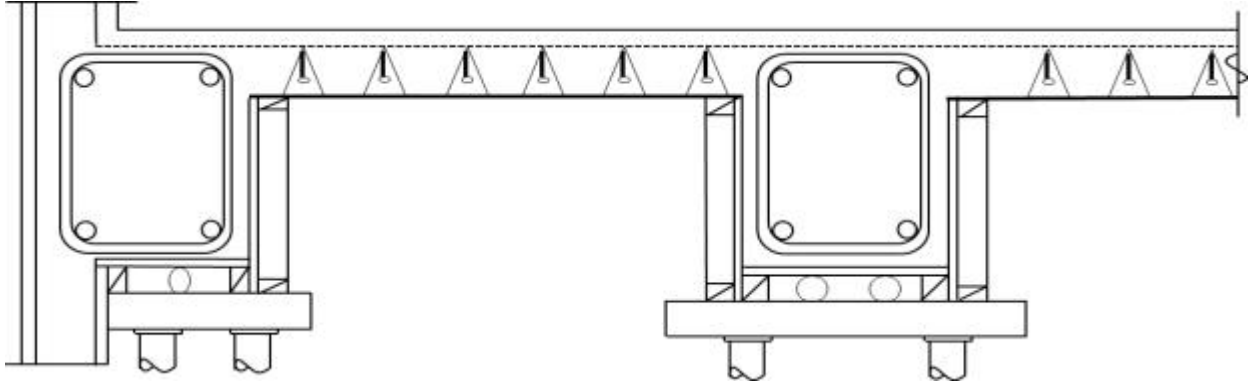
① 반입 	② 양중 	③ 임시 거치 	④ 판개 
⑤ 보 철근 설치 	⑥ 연결근 설치 	⑦ 각종 철근 설치 	⑧ 콘크리트 타설 

○ 데크플레이트 걸침구조 종류

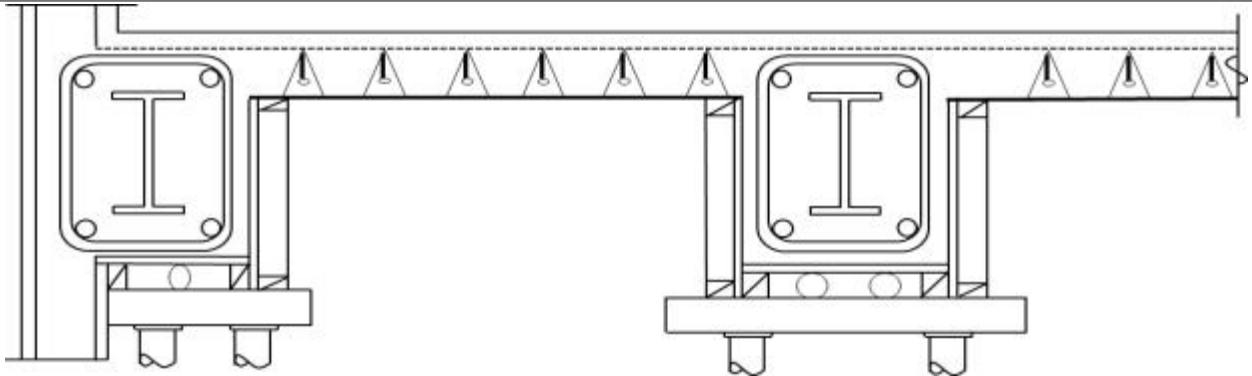
① 철골(S)조형 설치 단면도



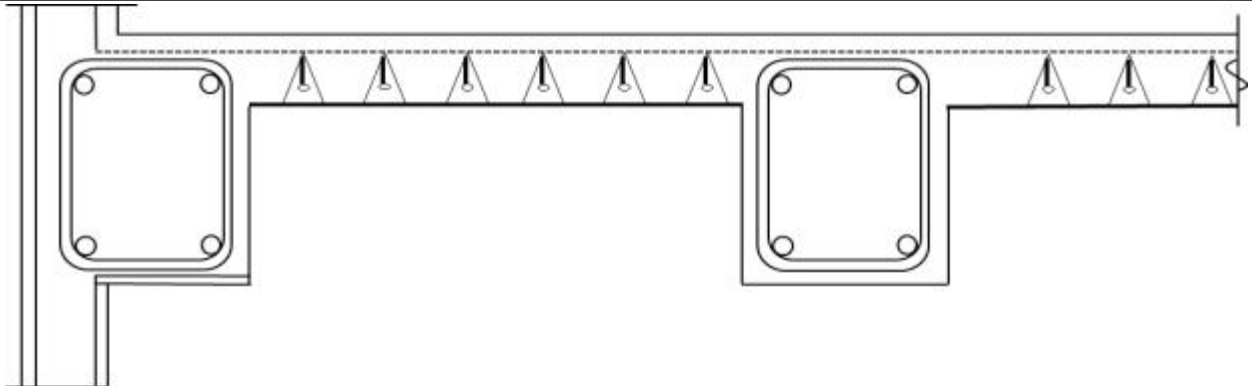
② 철근콘크리트(RC)조형 설치 단면도



③ 철골철근콘크리트조(SRC)조형 설치 단면도



④ 프리캐스트콘크리트(PC)조형 설치 단면도



II. 데크플레이트 관련 사고 현황 및 분석

○ 최근 4년간(2016~2019.7) 발생한 데크플레이트 작업관련 사고 분석(17건)

- (발생 형태) 추락(59%), 붕괴(29%), 낙하(12%) 순으로 발생 *
- (작업 공정) 설치작업(47%), 콘크리트 타설(29%), 이동 중(12%) 순으로 발생

발 생 형 태	건수	비율(%)
계	17	100
추락	10	58.8
낙하	2	11.8
붕괴(데크플레이트 자체)	1	29.4
붕괴(데크플레이트 탈락)	1	
붕괴(데크플레이트 지지동바리)	3	

작 업 공 정	건수	비율(%)
계	17	100
설치작업	8	47.1
콘크리트 타설	5	29.4
양중거치작업	1	5.9
운반작업	1	5.9
이동 중	2	11.7

* (추락 직접원인) 안전대부착설비 또는 추락방호망 미설치
(붕괴 직접원인) 콘크리트 타설 중 데크플레이트 지지구조 불량

○ 점유율 29.4%를 차지한 데크플레이트 붕괴사고 5건에 대한 분석

<데크플레이트 붕괴사고 현황>

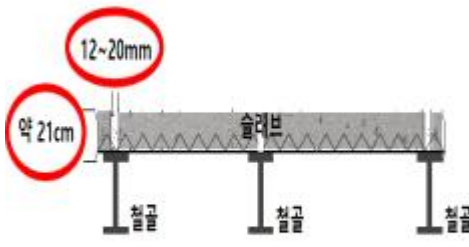
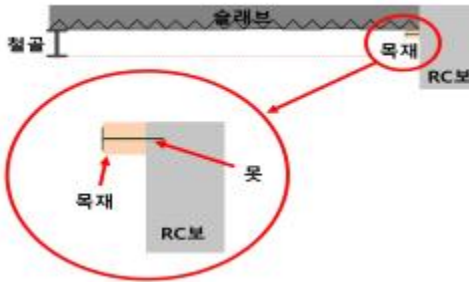
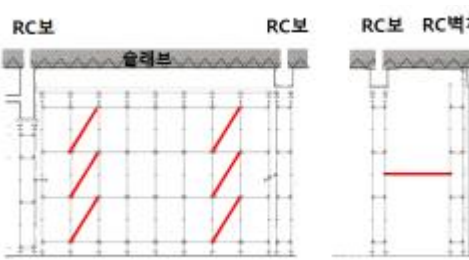
- 1) ('16.2.18) 석탄취급설비 설치공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴, 사망 2명
- 2) ('19.3.18) 환경에너지 시설공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴, 사망 3명
- 3) ('19.6.25) 물류센터 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 잭서포트 및 데크플레이트 붕괴, 부상 5명
- 4) ('19.6.26) 지식산업센터 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 시스템동바리 및 데크플레이트 붕괴, 부상 4명
- 5) ('19.7.30) 초등학교 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 파이프서포트 및 데크플레이트 붕괴, 부상 3명

- (주요원인) ①구조검토에 의한 시공상세도 미작성, ②구조검토 오류, ③데크플레이트 걸침길이 부족, ④콘크리트 집중 타설 등

【데크플레이트 붕괴사고 주요발생원인(직접원인)】

붕괴 기인물	재해발생 작업공정	발생원인(1)	발생원인(2)	발생원인(3)
1) 데크플레이트 자체	콘크리트 타설	구조검토에 의한 시공 상세도 미작성	콘크리트 과(집중)타설	데크플레이트 양단 걸침 길이 부족
2) 데크플레이트 하부 지지 목재각재 받침		구조검토에 의한 시공 상세도 미작성	데크플레이트 목재각재 받침의 안전성 미확보	-
3) 데크플레이트 하부 지지 보 잭서포트		잭서포트 작용하중 산정 및 안전성 검토 오류	잭서포트 하중 압축하중 산정 오류	콘크리트 한방향 집중 타설
4) 데크플레이트 하부 지지 보 시스템동바리		구조검토에 의한 시공 상세도 미작성	보 하부 동바리 수평재 가새재 일부 미설치	-
5) 데크플레이트 하부 지지 보 파이프서포트		구조검토에 의한 시공 상세도 미작성	보 하부 동바리 수평연 결재 미설치	미 인증품인 파이프 서포트(V5) 사용

○ 데크플레이트 붕괴사고 기술적원인 도해 분석

붕괴 기인물 사진	데크플레이트 지지 구조(단면도)	기술적 원인
 사례1) 보 지지 방식 - 철골		○ 콘크리트 과(집중)타설 - 설계 Con'c $t=12.5\text{cm}$ - 시공 Con'c $t=21\text{cm}$ ○ 데크플레이트 걸침길이 부족 - 설계 걸침길이=50mm - 시공 걸침길이=12~20mm
 사례2) 보 지지 방식 - 철골, 목재각재 받침		○ 데크플레이트 목재각재 받침의 안전성 미확보 - 목재각재(4x5cm)를 콘크리트 못(7.35cm)으로 고정
 사례3) 보 지지 방식 - 잭서포트		○ 잭서포트 작용하중 산정 및 안전성 검토 오류 - 하중이 불리한 조건인 Girder와 Beam이 겹치는 'B'구간 검토 필요 ○ 잭서포트 허용압축하중 산정 오류 - 허용압축하중을 과하게 적용
 사례4) 보 지지 방식 - 시스템동바리		○ 보 하부 시스템동바리 가새재 수평재 일부 미설치 - 가새재 수평연결재 누락으로 수평하중에 대한 안전성 미확보
 사례5) 보 지지 방식 - 파이프서포트		○ 보 하부 파이프서포트 수평연결재 미설치 - 수평연결재 누락으로 수평하중에 대한 안전성 미확보

Ⅲ. 데크플레이트 붕괴사고 사례

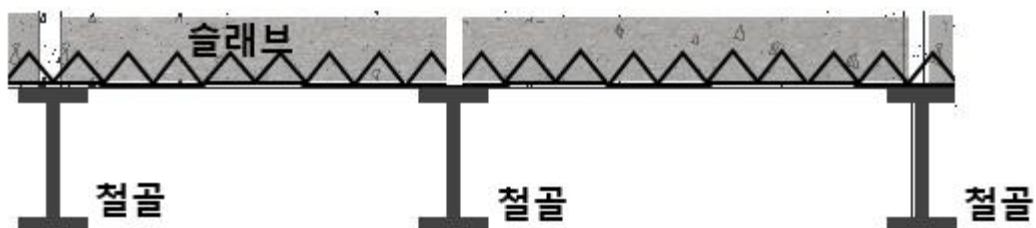
사례1. 석탄취급설비 설치공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴, 사망 2명

○ 사고 개요

2016. 2. 18.(목) 11:25분경 충남 태안군 소재 ○○중공업(주) 석탄취급설비 설치공사 현장의 석탄 이송설비인 벨트 컨베이어 갤러리구간에서 작업자 9명이 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트가 상부하중을 지지하지 못하고 아래로 무너지며 콘크리트 타설작업을 하던 2명이 60m아래 지상 바닥으로 떨어져 사망한 재해임



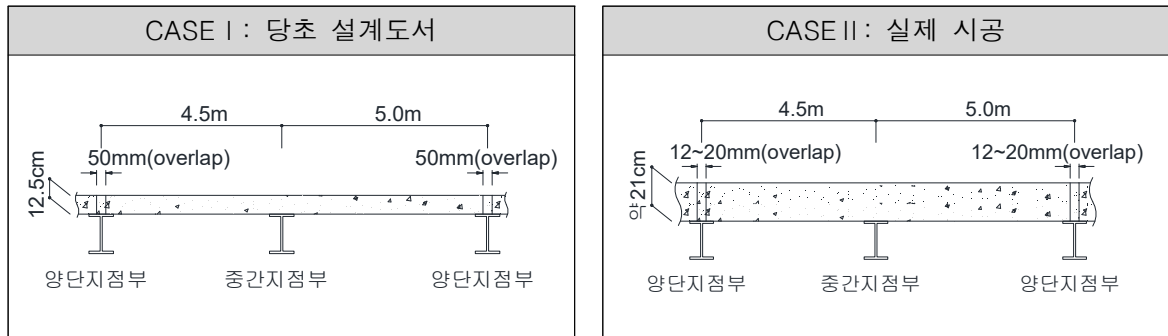
○ 데크플레이트 구조



- (결침 구조) 양단 모두 철골 플랜지에 데크플레이트 설치
- (지지 구조) 무지보 거푸집동바리(데크플레이트 공법)

○ 구조검토 조건

- (당초 설계도서) 양단 지점부는 50mm 겹친 후 스티드 용접을 실시하여 무근콘크리트 $t=12.5\text{cm}$ 를 타설
- (실제 시공) 양단 지점부는 12~20mm 겹친 후 스티드 용접을 실시하여 무근콘크리트 $t\approx 21\text{cm}$ 를 타설



○ 구조해석

- (작용 하중) 데크플레이트 자중+무근콘크리트 하중+작업하중(작업원, 장비하중, 시공 및 충격하중)
- (경계 조건) CASE I : 중간 및 양단지점부(힌지)
CASE II : 중간지점부(힌지), 양단지점부(롤러)

<CASE I 구조검토 결과>

당초 설계도서와 같은 하중 및 경계조건을 적용하여 구조해석을 수행한 결과, 데크플레이트의 최대응력은 항복응력 이내가 되어 구조 안전성을 확보

구 분	최대응력(MPa)	항복응력(MPa)	안전율	비고
중간 지점부(부모멘트부)	243.6	294.0	1.22	O.K
5m 구간 중앙부(정모멘트부)	116.7	294.0	2.54	O.K

<CASE II 구조검토 결과>

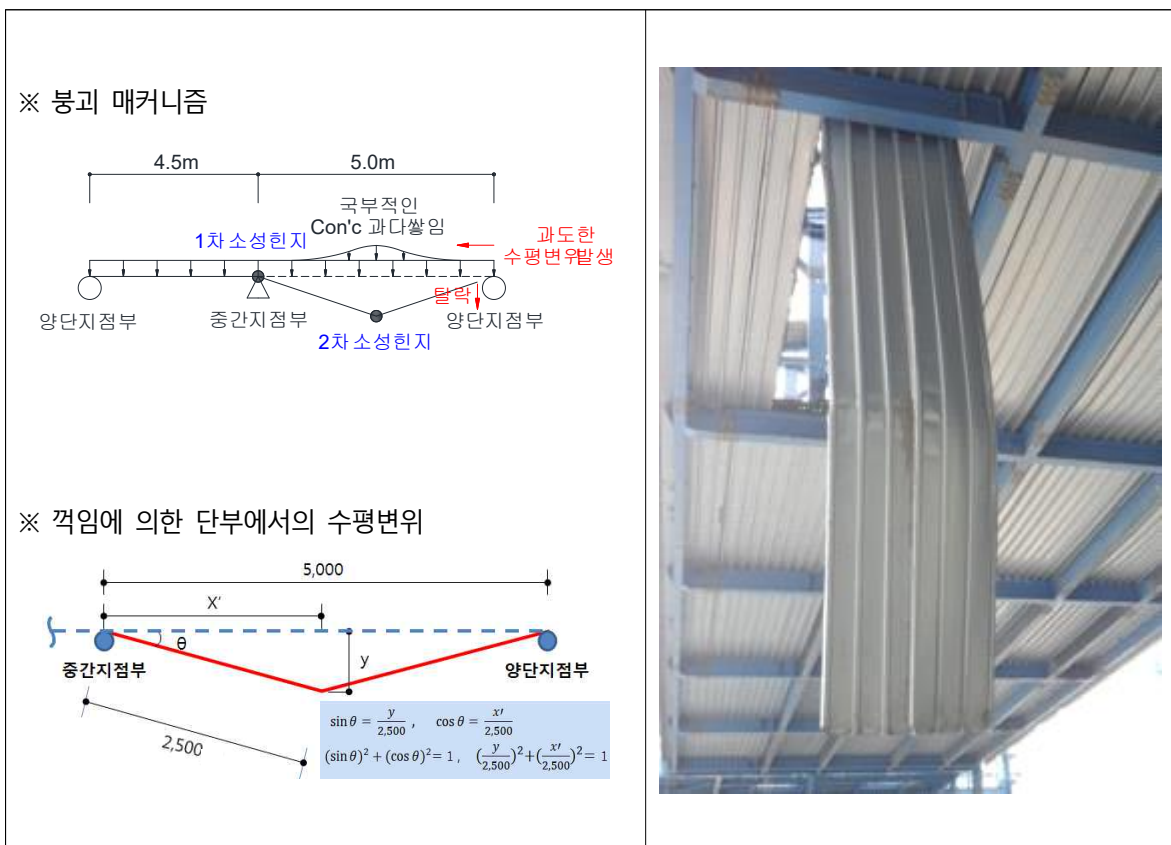
실제 시공과 같은 하중 및 경계조건을 적용하여 구조해석을 수행한 결과, 중간 지점부는 항복응력을 초과하여 소성힌지*가 형성되나 5m 구간의 중앙부는 항복응력 이내로

소성힌지가 형성되지 않음. 따라서 사고지점 인접구간에서와 같이 데크플레이트의 붕괴(탈락)까지는 이르지 않으나, 아래 표와 같이 항복응력에 상당히 근접한 상태로 나타남

* 소성힌지 : 작용하중이 항복하중 초과 시 (소성)지점은 저항력을 가지며 힌지와 같이 회전에 의해 파괴

구 분	최대응력(MPa)	항복응력(MPa)	안전율	비고
중간 지점부(부모멘트부)	346.5	294.0	0.86	N.G
5m 구간 중앙부(정모멘트부)	282.7	294.0	1.05	O.K

탈락된 데크플레이트 구간의 경우 5m 스패의 중앙부근에 콘크리트 타설공 2명이 있었고, 펌프카 엔드호스가 거치되어 있으므로 국부적으로 콘크리트가 상당량 쌓여 있었을 것임. 그로 인해 5m 스패의 중앙부 최대응력도 항복응력을 초과하여 소성힌지가 형성됨으로써 중앙부에서의 꺾임(465mm)이 발생하여 지점부에서 87.5mm 이상의 과도한 수평변위로 인해 데크플레이트가 탈락된 것으로 추정



○ 재해발생 직접원인

- 갤러리의 데크플레이트 시공 시 설계도서 미 준수

당초 설계도서(설계도면, 시방서)에는 철골 보 걸침길이 50mm인 상태에서 무근콘크리트 $t=12.5\text{cm}$ 를 타설하는 것으로 계획되어 있었으나, 실제 시공은 철골 보의 걸침길이가 12~20mm로 부족한 상태에서 무근콘크리트 $t\approx 21\text{cm}$ 를 과하게 타설함으로써 데크플레이트에 과도한 변형이 발생하여 철골 보에서 탈락 및 붕괴

○ 기술적 대책

- 데크플레이트 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수

- ① 데크플레이트의 하중전달 및 지지구조에 따른 구조안전성 검토 후 데크플레이트의 설치간격, 이음방법, 걸침길이, 용접간격 등을 포함한 시공상세도 작성 및 준수
- ② 콘크리트 타설 전 시공상세도 준수 여부 검증, 콘크리트 타설 두께 준수 및 집중타설 금지

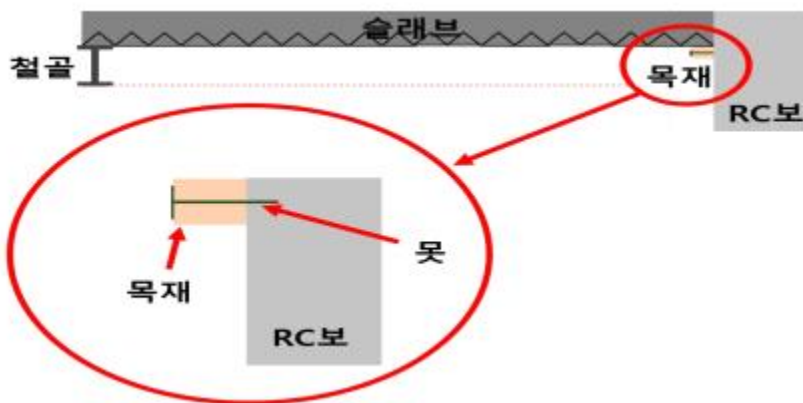
사례2. 환경에너지 시설공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴, 사망 3명

○ 사고 개요

2019. 3. 18.(월) 12:30분경 경북 안동시 소재 ○○건설(주) 환경에너지 시설공사 현장에서 작업자 6명이 자원회수 시설동 크레인조정실 바닥슬래브 콘크리트 타설 작업을 진행하던 중 데크플레이트를 지지하고 있던 목재각재 받침이 슬래브 자중 및 작업하중을 견디지 못하고 철근콘크리트 보 측면에서 이탈되면서 바닥 슬래브가 붕괴되어 콘크리트공 3명이 약 24.0m아래 지상으로 떨어져 사망한 재해임



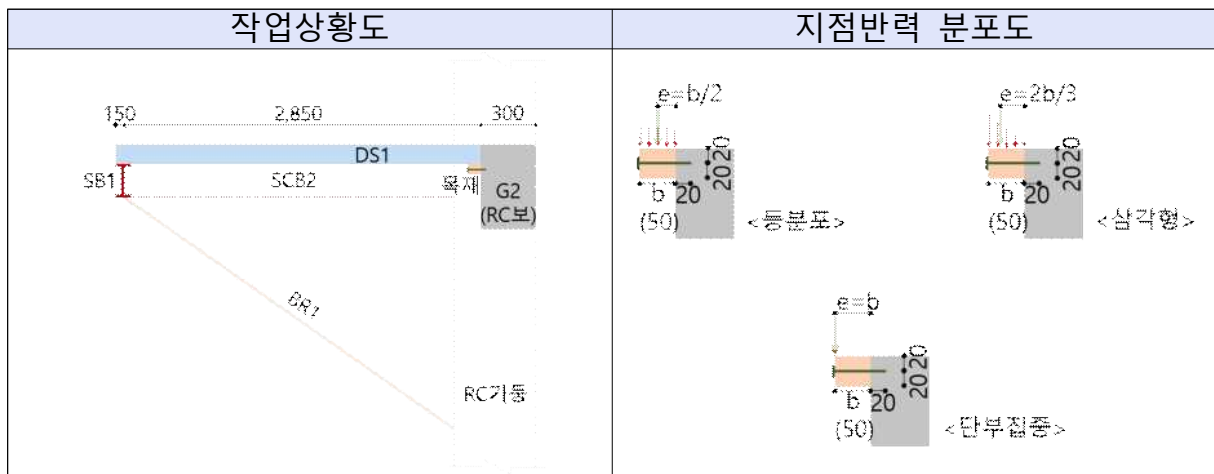
○ 데크플레이트 구조



- (걸침 구조) 데크플레이트 한단은 철골 플랜지에 고정하고 다른 한단은 목재각재 받침 위에 설치
- (지지 구조) 무지보 거푸집동바리(데크플레이트 공법)

○ 데크플레이트 받침 구조검토 조건

- 사고발생 데크플레이트는 주 방향(단변 방향)의 한쪽 면은 철골보 위에 설치되었고, 반대쪽은 **철근콘크리트 보 측면에 못으로 고정된 목재각재로 받쳐져** 있었으며, 부 방향(장변 방향)은 양쪽면 모두 철골보 위에 설치되어 있었음.
- 떨어진 목재각재와 콘크리트못 상태를 확인한 결과, 목재각재의 단면이 4x5cm로 4cm면이 철근콘크리트 보 측면에 접하여 콘크리트못으로 고정되어 있었으며, 콘크리트못 길이 약 73.5mm, 지름(d_n) 약 2mm, 삽입깊이(h_{ef}) 약 20mm, 설치간격은 약 250mm 내외로 시공됨.
- 데크플레이트 지점반력 분포는 데크플레이트 강성, 목재와 철근콘크리트 보 연결 강성에 따라 여러 형태가 예상되지만, 현장의 사고원인의 보수적 접근을 위해 편심이 작은 **등분포**로 가정함.
- 데크플레이트 붕괴 당시 작용하중은 **데크 슬래브 자중 및 작업하중에 국한하여 사고 원인을 추정함.**



[사고당시 작업상황 모식도 및 지점반력 분포도]

○ 구조계산

- 사용하중
 - 경간길이 2.85m 콘크리트 못 1EA 당 전단력
: $V_s = 1,850 \text{ N}$
 - 콘크리트 못 1EA 당 인발력
: $N_s = 2,570 \text{ N}$
- 전단강도

$$: V_n = 923.6 \text{ N}$$

- 인장강도

$$: N_n = 334.8 \text{ N}$$

- 인장력과 전단력 조합 검토

$$: \frac{N_s}{N_n} + \frac{V_s}{V_n} \leq 1.2$$

$$= 2.57/0.33 + 1.85/0.92 = 9.8 > 1.2 \text{ N.G.}$$

○ 구조계산 결과

사고 당시의 작업 상황을 감안한 구조검토 결과, 목재각재를 철근콘크리트 보 측면에 고정시킨 콘크리트못으로 데크플레이트 콘크리트 타설 하중을 지지할 수 없음

- 작용하중이 인장저항능력의 7.8배, 전단저항능력의 2.0배를 초과하였으며, 조합력 (인장과 전단)이 9.8배로서 허용한계 값인 1.2배를 상당히 초과함.
- 사고발생 데크플레이트의 한쪽 지지점인 콘크리트못으로 고정된 목재각재는 붕괴 당시 콘크리트 타설 하중을 견디지 못하고 탈락함으로써 데크플레이트가 붕괴

○ 재해발생 직접원인

- 구조안전성 검토에 의한 시공 상세도 미작성
 - ① 구조검토에 의한 시공 상세도 작성 없이 안전성이 검증되지 않은 데크플레이트 받침용 목재각재(4×5cm)를 설치
 - ② 데크플레이트 받침용 목재각재의 구체적인 설치방법을 정하지 아니하고 작업자 임의로 콘크리트 못(간격 25cm 내외) 고정

○ 기술적 대책

- 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수
 - ① 슬래브의 데크플레이트 받침 설치방법 결정 시 구조검토를 통해 자중 및 작업 하중을 견딜 수 있는 받침 설치방법을 결정
 - ② 작업자들이 데크플레이트 받침 설치방법을 구체적으로 알 수 있도록 시공 상세도 작성 및 준수

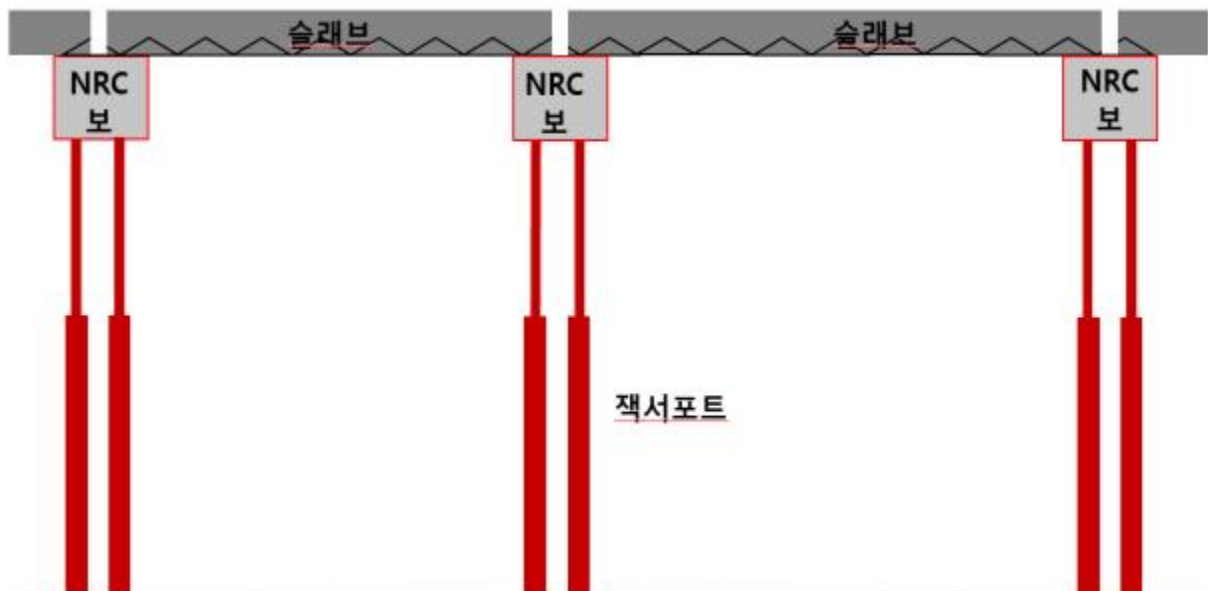
사례3. 물류센터 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 잭서포트 및 데크 플레이트 붕괴, 부상 5명

○ 사고 개요

2019. 6. 25(화) 14:30분경 경남 창원시 소재 (주)○○건설이 시공하는 물류센터 신축공사 현장에서 작업자 5명이 지상 3층 바닥슬래브에서 콘크리트 타설작업 중 NRC보를 지지하고 있던 잭서포트(H=10.5m)가 콘크리트 자중 및 작업하중을 견디지 못하고 바닥슬래브가 붕괴되어 타설공 5명이 약 11.5m 아래 지상으로 떨어지면서 부상당한 재해임



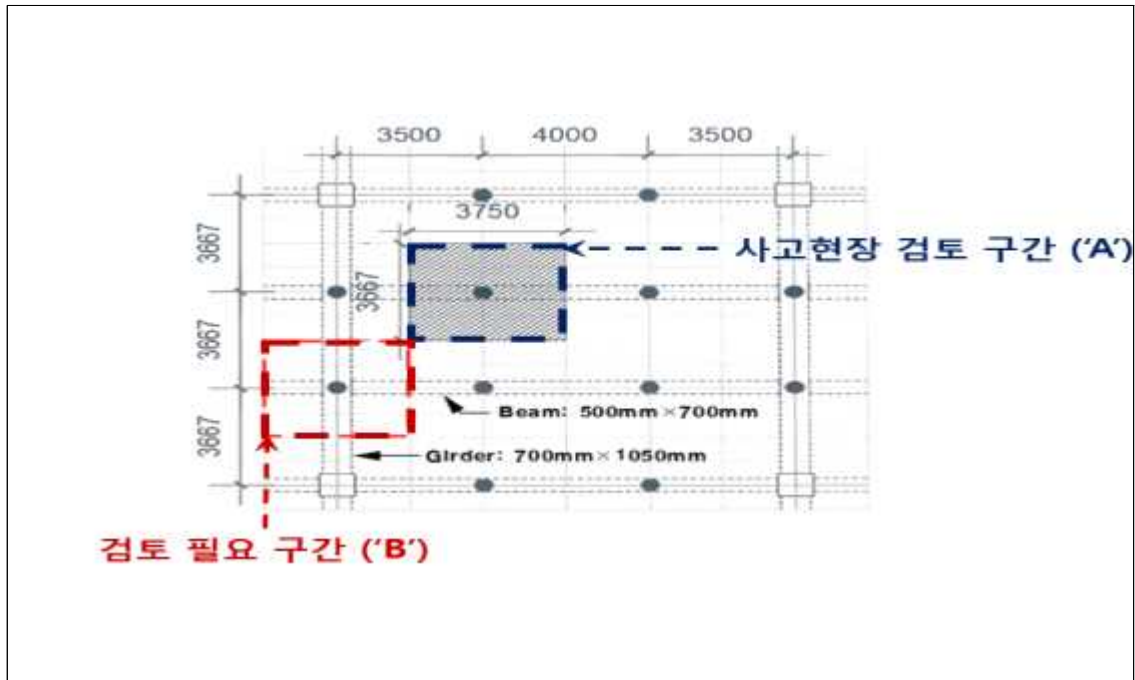
○ 데크플레이트 구조



- (걸침 구조) 양단 모두 철근콘크리트 보에 데크플레이트 설치
- (지지 구조) 슬래브는 데크플레이트, 보 하부는 잭서포트 설치

○ 구조검토

- 잭서포트 작용하중 산정 및 안전성 검토 오류



① 현장 설계자 측 검토결과 (A구간)

잭 서포트 안전성 검토 : $125.28\text{kN} / 122.3\text{kN} = 1.02 \rightarrow \text{O.K}$

② 공단 검토결과 (B구간)

총 하중(고정하중+작업하중) = $171.6\text{kN} > 122.3\text{kN} \rightarrow \text{N.G}$

③ 결론

잭서포트 안전성 검토 시 Girder와 Beam이 겹치는 하부 잭서포트(B구간)가 Beam하부 잭서포트(A구간)에 비해 더 불리하며, 해당부위(B구간)의 잭서포트를 검토한 결과 불안정한 것으로 나타남.

- 잭서포트 허용 압축하중 산정 오류

① 사고 현장 잭서포트 설치 규격

총 높이 : 10.5m (외관: 6.3m, 내관: 4.2m, 내·외관 겹침길이: 1.8m)

② 현장 설계자 측 검토결과

잭서포트 구조계산서는 내·외관 중 단면강성이 상대적으로 약한 내관(4.5m)에 대해 세장비를 고려하여 허용압축하중을 산정(122.3kN)함.

③ 공단 검토결과

- 사고구간에 설치된 잭서포트는 내·외관 연결부가 썩기형태로 설치되어 완전한 강결구조가 아님.
 - 세장비를 고려하여 산정된 4.5m 내관의 허용 압축하중(122.3kN, 견고한 지반위에 4.5m의 내관만을 설치한 경우에 해당함)은 상당히 큰 값이라고 판단됨.
 - 10.5m 길이의 잭서포트 외관($\varnothing 139.8\text{mm} \times 4.5\text{t}$)을 세장비를 고려하여 산정한 허용 압축하중은 64.2kN으로 이는 견고한 지반위에 10.5m 길이의 잭서포트 외관만을 설치한 경우에 해당함.
 - 따라서, 사고현장에 설치된 10.5m 잭서포트(내·외관으로 결합)는 상기 10.5m의 잭서포트 외관만을 설치한 경우의 허용 압축하중(64.2kN)보다 더 작을 것으로 판단됨.
- ∴ 따라서 잭서포트 구조계산서에서 잭서포트 안전성 검토 시 적용한 허용 압축하중(122.3kN)은 과한 것으로 판단됨.

○ 재해발생 직접원인

- 잭서포트 구조안전성 검토 오류

- ① 잭서포트 작용하중 산정 시 Girder와 Beam이 겹치는 구간에 대한 구조안전성 검토를 하여야 하나 Beam 구간에 대해서 작용하중 검토함.
- ② 잭서포트 허용 압축하중 산정 시 적용하중이 과한 것으로 판단됨.

○ 기술적 대책

- 잭서포트 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수

- ① 잭서포트 작용하중 산정 시 불리한 구간을 선정하여 구조안전성 검토
- ② 잭서포트 허용 압축하중 산정 시 시험결과를 토대로 적용

사례4. 지식산업센터 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 시스템동바리 및 데크플레이트 붕괴, 부상 4명

○ 사고 개요

2019. 6. 26.(수) 10:30분경 경기 화성시 소재 (주)○○주택 지식산업센터 신축공사 현장에서 작업자 4명이 지상1층 바닥슬래브 콘크리트를 타설 하던 중 시스템동바리 및 데크플레이트가 붕괴되면서 높이 약 7.2m 아래 지하 1층 바닥으로 4명이 추락하여 부상당한 재해임



재해 상황도

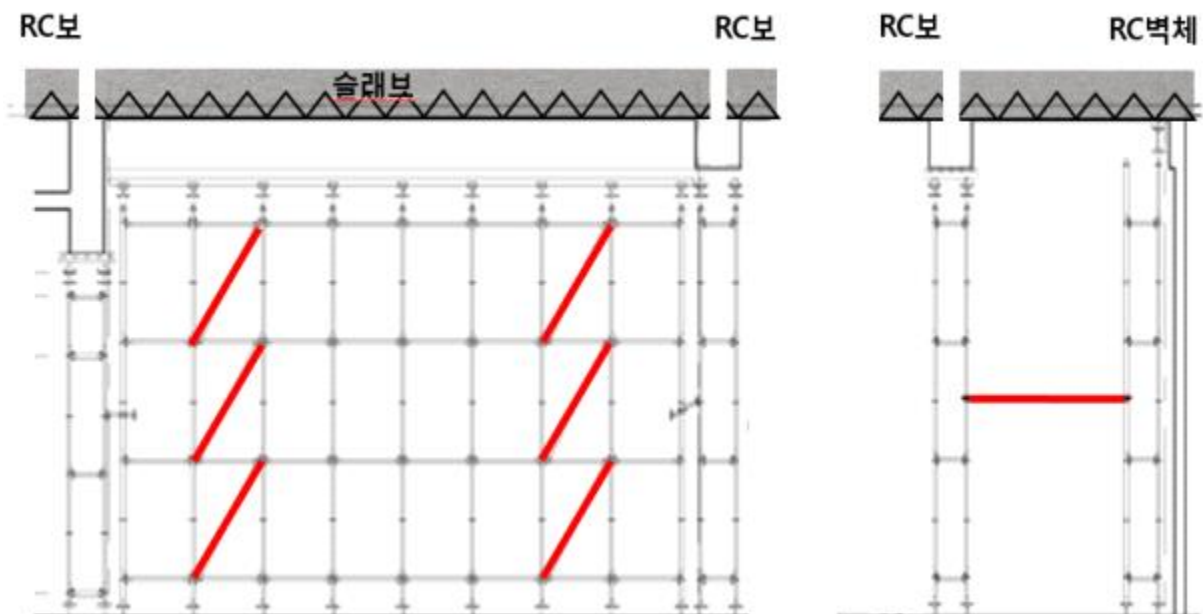


사고현장 전경



붕괴된 시스템동바리 및 데크플레이트

○ 데크플레이트 구조



- (결침 구조) 데크플레이트를 철근콘크리트 보 및 벽체에 설치
- (지지 구조) 슬래브는 데크플레이트, 보 하부는 시스템동바리 설치

○ 구조계산 및 조립도 검토



- 구조 설계서에 따르면 붕괴된 ③번 RC보(800x900mm) 시스템동바리 단변방향 설치간격은 915mm로 되어 있으나, 실제 시공은 610mm로 설치됨에 따라 시스템 동바리의 설치높이/설치폭의 비가 증가하여 구조적으로 불리해짐
- 구조 설계서에 ①번 RC보(600x2,150mm)의 구조검토가 누락됨
 ☞ 현장에서 800x1,770mm 보의 구조계산을 토대로 조립한 것으로 추정됨.

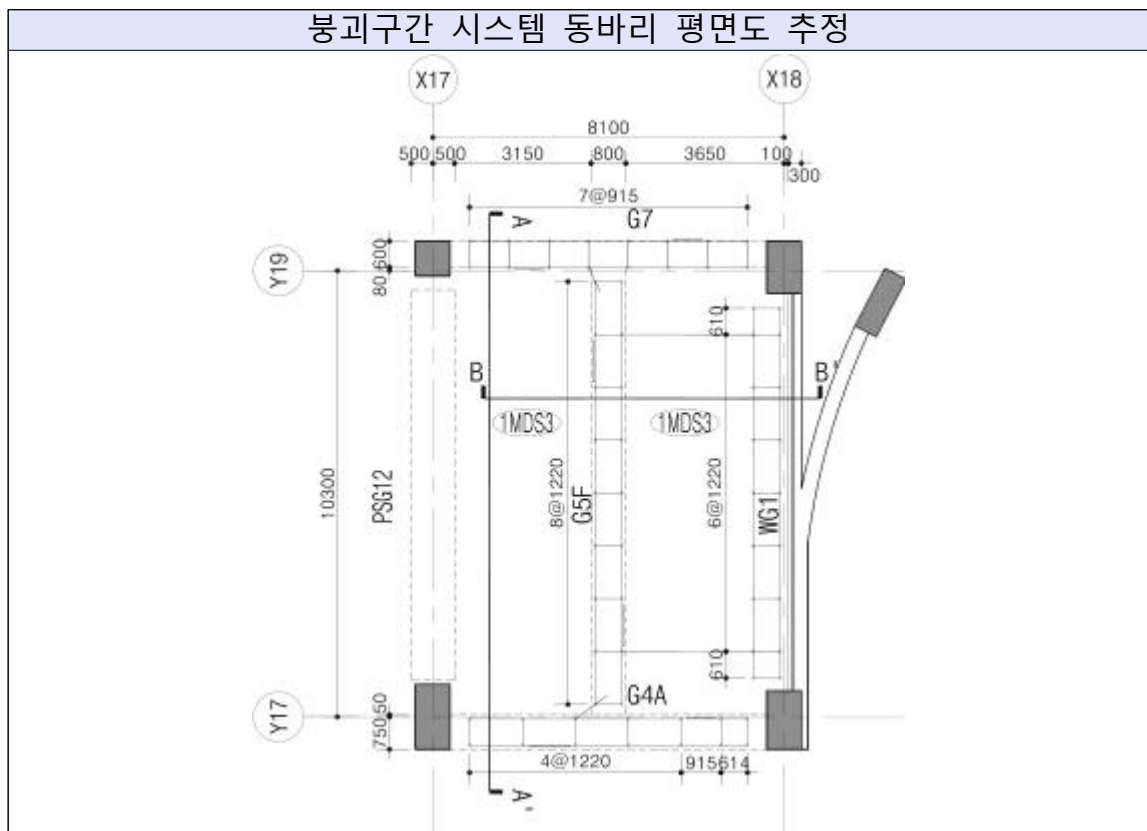
○ 수평하중에 대한 안전성 검토

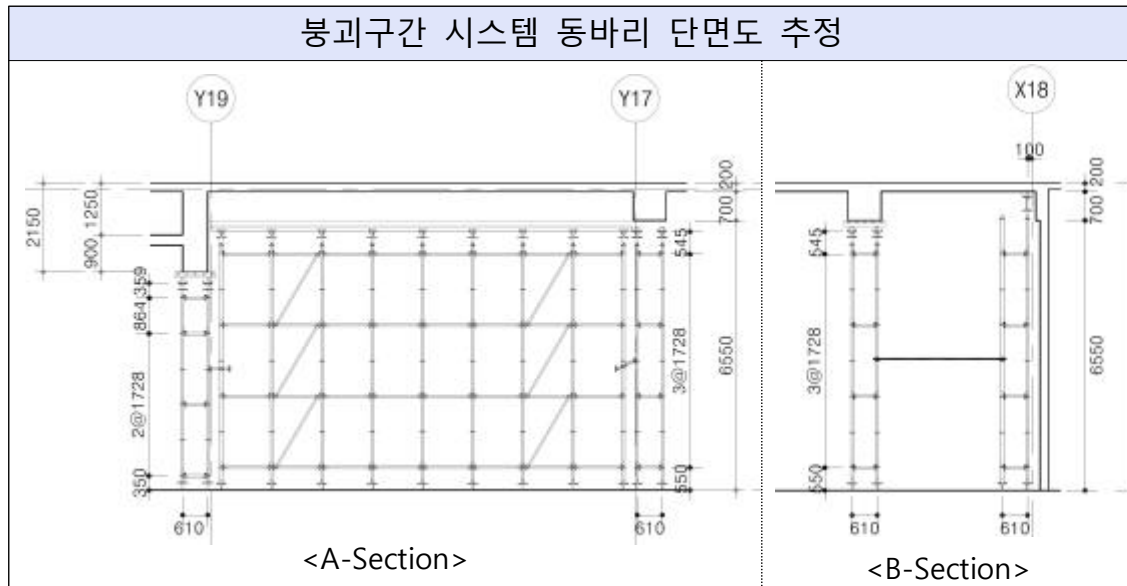
- 시스템 동바리 수직재와 수평재 연결조건은 힌지로 각각의 단위 수직재 및 수평재에 가새재를 설치해야 하고,
- 시스템 동바리 설치 높이가 5m이상이고 동바리 설치높이/설치폭의 비가 3을 초과 하므로 구조해석을 수행하여 전체좌굴, 수평하중 안전성 등 조치를 취하여야 하나,

- 당해 현장의 구조설계서는 단변 방향으로 횡 지지를 위한 **가새재를 설치하지 않은 상태에서**, 수직재와 수평재 결합부에 임의의 회전강성을 적용하여 **구조해석 없이 수평하중에 대한 안전성 확보** 계획을 수행함.
- 동바리에 적용하는 최소 수평하중은 고정하중의 2%와 수평 길이 당 1.5kN/m 이상 중 큰 값을 최상단에 작용하게 되어 있으나,
- 당해 현장의 구조설계서는 고정하중에 2%에 대한 수평하중만 고려하여 설계기준보다 작은 하중을 적용함.
- 수평하중에 대한 안전성 확보를 위해 구조설계서에는 수평연결재를 보 길이 방향으로 2단, 2m 간격으로 설치하는 것으로 계획되어 있으나, 실제시공은 1단을 양단부에 2개만 설치함.

○ 시스템동바리 설치 상태 추정

- 사고부위의 시스템동바리 조립도가 존재하지 않아 현장의 유사구간 조립도 및 시공 상태, 목격자 진술, 확보한 자료 등을 토대로 시스템동바리 조립도를 다음과 같이 추정함.





○ 재해발생 직접원인

- 구조안전성 검토에 의한 시공 상세도 미작성

- ① 보(600x2,150mm) 하부 시스템 동바리 구조검토 누락
- ② 붕괴 구간의 보 하부 구간에 대한 수평연결재 설치 간격 등 구조안전성 검토에 의한 시공 상세도 미작성
- ③ 보 하부 시스템동바리의 수평재·가새재 및 수평연결재 일부구간 미설치

○ 기술적 대책

- 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수

- ① 구조안전성 검토 결과를 반영하여 수직재·수평재·가새재 및 전체좌굴 방지를 위한 수평연결재 설치 등 시공상세도 작성
- ② 시공 상세도에 표기된 해당 부재 (수평재, 가새재, 명에재 등)의 길이, 치수, 높이, 수평연결재 설치 위치 등에 따라 정확하게 설치

사례5. 초등학교 신축공사 현장의 콘크리트 타설작업 중 파이프서포트 및 데크플레이트 붕괴, 부상 3명

○ 사고 개요

2019.7.30.(화) 16:10분경 경남 김해시 소재 ○○종합건설(주) 초등학교 신축공사 현장에서 작업자 3명이 교사동 다목적실 지상2층 바닥슬래브 콘크리트 타설 작업중 파이프서포트 및 데크플레이트가 붕괴되어 약 5.1m 아래 지상1층 바닥으로 떨어지면서 부상당한 재해임



재해 상황도

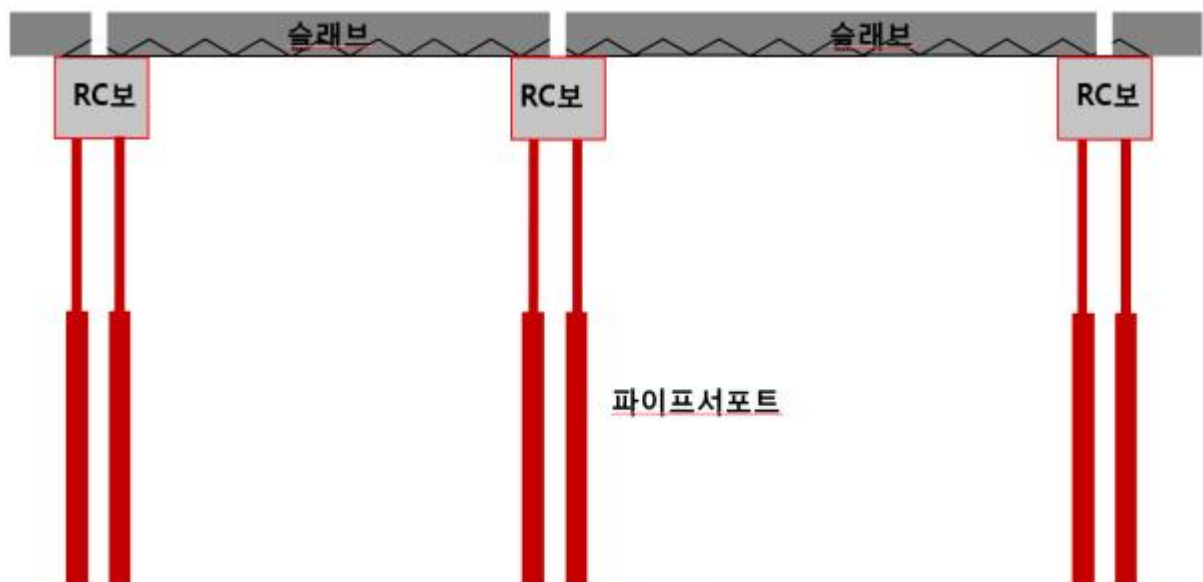


사고현장 전경



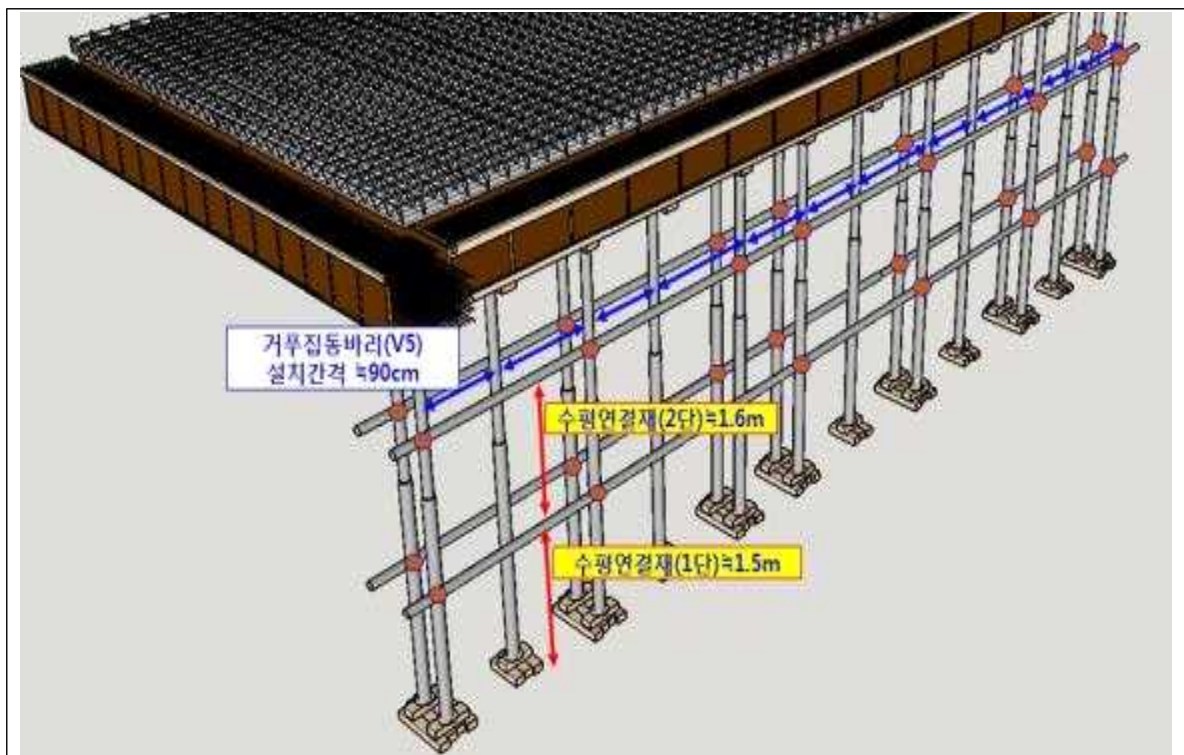
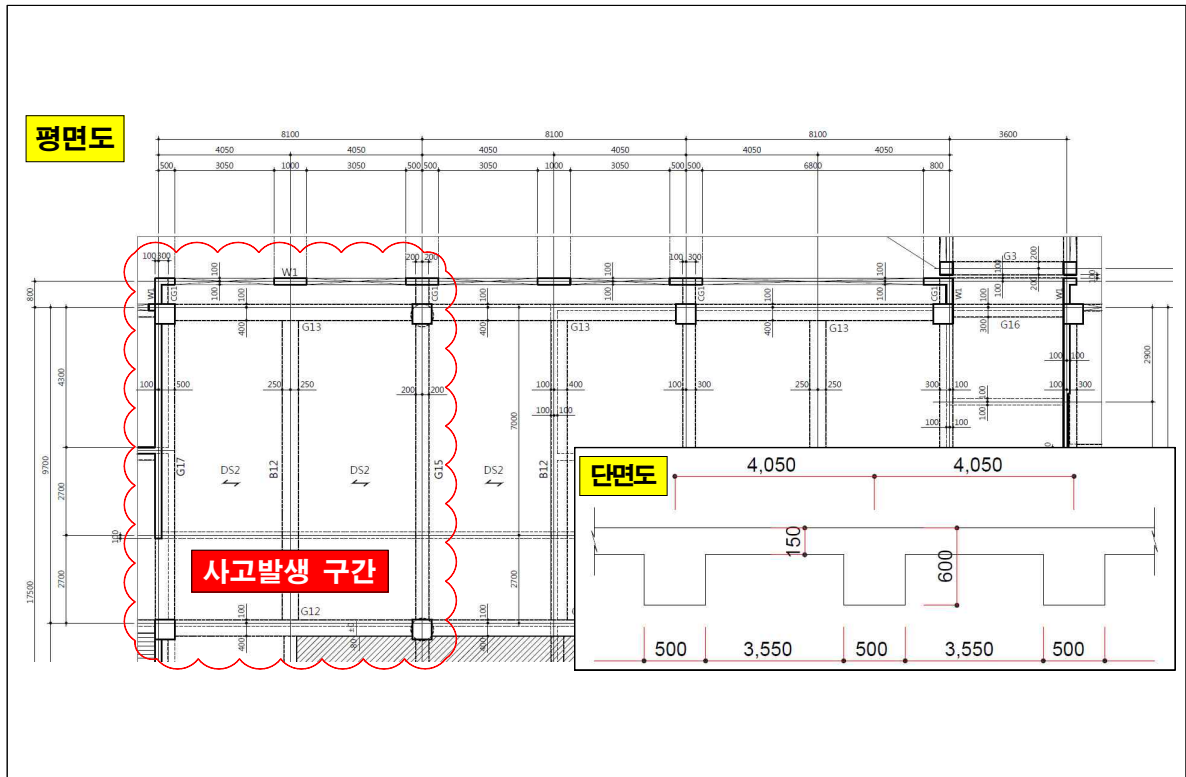
붕괴된 파이프서포트 및 데크플레이트

○ 데크플레이트 구조



- (걸침 구조) 철근콘크리트 보에 데크플레이트 설치
- (지지 구조) 슬래브는 데크플레이트, 보 하부는 파이프서포트 설치

○ 구조계산 및 조립도 검토



- 구조검토 개요

사고구간의 동바리는 데크플레이트(슬래브)+파이프서포트(보) 구조로 상부하중을 보 하부의 파이프서포트(V5)가 지지하지 못하고 붕괴됨에 따라 상부하중에 대한 파이프서포트(V5)의 구조 안전성을 검토하여 붕괴원인을 추정하고자 함.

- 파이프서포트(V5) 안전성 검토 결과

파이프서포트 안전성 검토결과, 보 하부에 1열로 설치된 파이프서포트는 종방향 설치 간격에 따라 붕괴에 이를 수 있는 것으로 검토됨. 그러나 당초 계획된 V4 파이프서포트로 2열인 경우에는 안전율이 포함된 설계관점에서는 N.G이나, 붕괴까지는 이르지 않는 것으로 검토됨.

[CASE I] 동바리 종방향 간격이 900mm인 경우

붕괴관점 : 29.0kN/EA (압축하중) < 30.0kN/EA (극한강도*) → O.K

설계관점 : 29.0kN/EA (압축하중) > 7.5kN/EA (허용강도**) → N.G

* 재료가 파괴(파단, 좌굴 등)될 때까지 견디는 힘

(극한강도=허용강도×3(설계안전율)×1.3(재사용안전율)

** 재료를 안전하게 사용하는데 허용될 수 있는 힘(허용강도=극한강도/안전율)

[CASE II] 동바리 종방향 간격이 1,000mm인 경우

붕괴관점 : 32.2kN/EA (압축하중) > 30.0kN/EA (극한강도) → N.G

설계관점 : 32.2kN/EA (압축하중) > 7.5kN/EA (허용강도) → N.G

※ [당초계획] V4 파이프서포트를 2열, 종방향 간격 1,000mm로 설치한 경우

붕괴관점 : 16.1kN/EA (압축하중) < 40.0kN/EA (극한강도) → O.K

설계관점 : 16.1kN/EA (압축하중) > 10.5kN/EA (허용강도) → N.G

- 사고원인(추정)

당해 현장에 설치된 동바리는 무지보슬래브 데크공법으로 보 하부에 설치된 파이프서포트 (V5, 종방향 간격: 900~1,000mm)가 상부하중을 지지하지 못하고 붕괴된 것으로 판단됨.

- 보 하부 일부구간에 1열로 설치된 파이프서포트(V5)가 수평연결재와 연결되지 않은 상태에서 시공 중 상부하중이 파이프서포트(V5)의 극한강도를 초과하여 좌굴됨으로써 붕괴

○ 재해발생 직접원인

- 구조안전성 검토에 의한 시공 상세도 미작성 및 설치방법 불량

- ① 거푸집동바리를 조립하는 때에는 사전 구조검토에 의한 조립도를 작성하고 조립도에 의하여 작업하여야 하나 임의로 거푸집동바리(V5)를 설치하고 콘크리트 타설 작업 중 동바리 붕괴재해 발생
- ② 높이 4.4m인 동바리 설치 시 높이 2m이내마다 수평연결재를 2개 방향(X, Y방향)으로 설치하여야 하나, 1개 방향으로만 설치함
- ③ 현장에 설치된 동바리는 미인증제품인 V5를 사용하였고, 일부 동바리는 위아래 뒤집어서 설치를 함

○ 기술적 대책

- 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수

- ① 거푸집동바리 조립 시 사전 구조검토에 의한 조립도를 작성하고, 조립도를 근거로 거푸집동바리를 설치
- ② 높이 2m이내마다 수평연결재를 2개 방향(X, Y방향)으로 설치
- ③ 동바리는 인증제품인 V5를 사용하거나 시스템동바리 설치

IV. 데크플레이트 설계, 시공단계의 문제점 및 개선방안

□ 문제점

○ 데크플레이트 걸침구조에 따른 구조검토 미흡

- 데크플레이트의 걸침구조의 특성에 따른 구조안전성 검토 소홀 및 설계도면 미작성

<데크플레이트 걸침구조의 종류>

- 철골(S)조
- 철근콘크리트(RC)조
- 철골철근콘크리트(SRC)조
- 프리캐스트콘크리트(PC)조
- 한단은 프리캐스트콘크리트(PC)조, 다른 한단은 철골(S)조 등 이질 구조

- 데크플레이트 받침에 작용하중이 전달되는 구조로 걸침길이 확보, 용접부에 대한 사전 안전성 검토가 중요하나, 구조 검토 미흡
- 특히, 데크플레이트의 걸침구조가 이질 구조일 경우 안전성 검토 시 하중전달 및 지지 방법에 따른 오류 발생 가능성이 높음

○ 현장여건을 반영한 거푸집동바리 구조안전성 검토 미흡

- 슬래브 데크+보하부 동바리(데크플레이트 공법) 공법의 경우 거푸집동바리 구조검토 시 슬래브 하중이 하부 보로 전달되는 구조이나, 이를 반영하지 않고 구조검토를 실시하는 오류 발생

○ 시공 상세도 미작성

- 데크플레이트의 설치간격, 이음방법, 걸침길이, 용접간격 등을 포함한 시공 상세도 미작성

○ 시공 오차 등으로 데크플레이트 걸침길이 부족현상 발생

- 구조물 시공 오차 등으로 인해 길이방향 또는 폭 방향으로의 걸침길이 부족할 경우 콘크리트 타설시 데크플레이트 처짐으로 인한 양단부 지지점 탈락 등의 붕괴위험 노출

○ 콘크리트 과(집중) 타설

- 데크플레이트의 구조검토 및 도면에 의해 콘크리트 두께를 준수 타설, 타설시 응력이 집중되는 중앙부 집중 타설 금지하여야 하나, 미 준수

□ 개선방안

○ (설계) 현장여건을 반영한 데크플레이트 구조안전성 검토

- 데크플레이트 구조안전성 검토 시 다양한 구조(철골보, RC보, SRC보, PC보) 등 **결침구조의 특성에 따른 하중전달 및 지지상태** 등 현장설치 여건을 **고려하여 검토**
- 데크플레이트 받침의 결침길이, 용접부에 대한 안전성 검토

○ (설계/시공) 시공상세도 작성 및 준수

- 데크플레이트의 설치간격, 이음방법, 결침길이, 용접간격 등을 포함한 시공 상세도 작성
- 슬래브 하중이 전달되는 하부 보 지지 방법(거푸집 동바리 등) 상세도 작성
- 시공상세도에 따라 결침길이 확보와 용접방법, 동바리 부재 설치 준수 및 검측 방안 마련 시행

○ (시공) 콘크리트 타설계획 수립 및 이행

- 콘크리트 타설계획을 수립하여 데크플레이트의 구조검토 결과에 따라 콘크리트 타설 두께 준수 및 집중타설 금지(관리감독자 상주 확인 등)

○ (관리) 유해·위험요인 발굴, 개선, 확인 등 관리 체계 및 작동성 강화

- 데크플레이트 설치 및 콘크리트 타설 전 데크플레이트의 결침 및 지지구조에 따른 위험성 평가 실시 및 개선 여부 확인

이 자료는 안전보건공단의 허락 없이 타 기관에서 부분 또는 전부를 복사, 복제,
전제하는 것은 저작권법에 저촉됩니다.

작성 : 안전보건공단 중앙사고조사단

검토 : 안전보건공단 중앙사고조사단장 김 남 두

중대재해 조사 실무 핸드북

발행일 : 2019년 12월

발행인 : 박 두 용

발행처 : 한국산업안전보건공단 중앙사고조사단
울산광역시 중구 종가로 400

Tel : 052-703-0120

Fax : 052-703-0130

2019-중앙사고조사-1614

<비매품>