

거푸집동바리 붕괴 유발요인 및 안전성 확보 방안

1 배 경

- 최근 사당동 종합체육관 신축공사 시스템동바리 붕괴사고, 국지도23호선 도로 개설공사 교량 시스템동바리 붕괴사고 등 거푸집동바리 관련 대형 붕괴사고가 연이어 발생하여 사회적 문제로 대두된 바,
 - 거푸집동바리 붕괴사고 유발 요인을 설계 시의 문제점 및 시공 시의 문제점으로 구분하여 분석 및 제시하고
 - 가설공사표준시방서(2014, 국토교통부) 등에 근거한 하중조합* 기반 2차원 또는 3차원 구조해석에 의한 안전성 검토의 당위성과 거푸집동바리의 안전성 확보 방안을 설계 및 시공관계자, 관련 협회 등에 전파하여 붕괴사고를 근원적으로 예방하고자 함
- * 하중조합 : 수직하중과 수평하중이 동시에 작용하는 것을 고려한 조합

2 거푸집동바리 붕괴 주요 유발요인

□ 설계 시 오류

- 거푸집동바리 구조검토 시 하중조합에 의한 해석 미실시
 - 거푸집동바리 설계 시 하중조합을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석을 통해 구조안전성을 확보하도록 규정하고 있으나, 하중조합방식이 아닌 수직하중(고정하중, 활하중 등) 및 수평하중(풍하중, 콘크리트 측압 등) 각각에 대해서만 구조검토를 수행
- 구조검토 시 일부 설계하중에 대한 미검토
 - 거푸집동바리 설계 시 작용하는 수직하중, 수평하중, 풍하중 및 특수하중 등에 대해 구조안전성을 검토하도록 규정하고 있으나, 상기 설계하중 일부에 대한 안전성 검토를 누락
- 좌굴안전성 검토 시 좌굴길이 적용 오류
 - 시스템동바리 수직재에 대한 좌굴검토 시 전체 층고에 대해 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로 검토하여야 하나, 전체 층고가 아닌 단위수직재에 대해 축력만을 받는 부재로 좌굴안전성을 검토
- 보 거푸집 및 Form tie에 대한 안전성 미검토
 - 콘크리트 타설 시 작용하는 측압을 고려하여 보 거푸집 및 Form tie의 구조안전성을 검토하여야 하나, 이를 누락

□ 시공 시 오류

○ 구조검토 결과에 따른 조립도 이행 미 준수

- 거푸집동바리는 구조검토 후 부재의 재질, 단면규격, 설치간격, 이음방법 등을 포함한 조립도를 작성하고 그 조립도에 따라 조립하여야 하나 조립도 이행 미 준수
 - * 시스템동바리 붕괴의 경우 면내 가새의 불충분 설치, 수직재 설치간격 미 준수 등에서 기인
 - * Pipe Support 붕괴의 경우 2단 시공, 수평연결재 미 설치 등에서 기인

○ 콘크리트 타설작업 안전수칙 미 준수

- 콘크리트를 타설하는 경우에는 작업 전 거푸집동바리의 변형 및 지반의 침하유무 등을 점검하고 작업 중 감시자를 배치하여 이상 유무를 확인하여야 하며, 편심이 발생하지 않도록 골고루 분산하여 설치하는 등의 타설작업을 준수하여야 하나 이를 미 준수

○ 시스템동바리 수직재 연결철물(연결핀) 미 설치

- 시스템동바리 설치 시 동바리의 안전성을 확보하기 위해 연결철물을 사용하여 수직재를 견고하게 연결하고, 연결부위가 탈락 또는 꺾여지지 않도록 하여야 하나 미 설치

○ 시스템동바리 최상단 및 최하단 수평연결재의 설치기준 미 준수

- 슬래브 두께가 0.5m 이상일 경우에는 시스템동바리 본체의 상단과 하단의 경계조건에 의한 수직재 좌굴하중의 감소를 방지하기 위하여 수직재 최상단 및 최하단으로부터 400mm 이내에 첫 번째 수평재를 설치하도록 규정하고 있으나 이를 미 준수

○ 시스템동바리 일체화를 위한 수평연결재 설치 시 기준 미 준수

- 시스템동바리 일체화를 위해 수평연결재 설치 시 시스템동바리의 높이가 4m를 초과할 경우 높이 4m 이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 설치하여야 하나 이를 미 준수

3 설계단계의 거푸집동바리 안전성 확보 기준

○ 거푸집동바리 구조검토 및 조립도 작성·이행 준수

❖ 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제331조 (조립도)

사업주는 거푸집동바리 등을 조립하는 경우에는 그 구조를 검토한 후 조립도를 작성하고, 그 조립도에 따라 조립하도록 하여야 한다.

* 조립도에는 동바리·명에 등 부재의 재질·단면규격·설치간격 및 이음방법 등을 명시

○ 작용하는 모든 설계하중에 대한 안전성 검토

❖ 「기설공사표준시방서」 제4장 1.2 설계하중 (「콘크리트 교량 시설용 동바리 설치지침」 제3장 3.2 설계하중)

거푸집 및 동바리는 콘크리트 시공 시에 작용하는 수직하중, 수평하중, 콘크리트 측압 및 풍하중, 편심하중 등에 대해 그 안전성을 검토하여야 한다.

○ 가시설물 설계 시 하중조합 적용

❖ 「가설공사표준시방서」 제3장 3. 하중조합 (「콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침」 제3장 3.2.3 하중조합)

가시설물 설계 시에는 시공 중 또는 사용기간 중에 작용할 것으로 **예상되는 하중들을** 각 하중들의 발생특성에 따라 **합리적으로 조합하여 검토**하여야 한다.

구 분	하중조합	허용응력증가계수
COMB 1	고정하중+활하중+수평하중(M)*	1.00
COMB 2	고정하중+활하중+수평하중(M)+풍하중	1.25
COMB 3	고정하중+활하중+수평하중(M)+특수하중	1.50

* 수평하중(M) : 타설 시의 충격 또는 시공오차 등에 의한 하중

(고정하중의 2% 또는 수평길이당 1.5kN/m 중 큰 값이 최상단에 작용)

○ 2차원 또는 3차원 구조해석에 의한 안전성 검토

❖ 「가설공사표준시방서」 제4장 1.6 구조설계 (「콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침」 제3장 3.4 구조해석)

일반적으로 동바리는 현장조건에 부합하는 각 부재의 연결조건과 받침조건을 고려한 **2차원 혹은 3차원 해석을 수행**하여야 하나, 구조물의 형상, 평면선형 및 종단선형의 변화가 심하고 편재하의 영향을 고려할 경우에는 반드시 3차원 구조해석을 수행하여 안전성을 검증하여야 한다. 특히 **설치 높이가 5.0m 이하인 시스템 및 강관틀 동바리의 경우에는 2차원 또는 3차원 구조해석을 생략할 수 있으며**, 구조설계는 하중계산→응력계산→단면 배치 및 간격계산에 따라 수행한다.

* 높이 5m이하인 시스템 및 강관틀 동바리에 한하여 2차원 또는 3차원 구조해석 생략 가능

○ 재사용 가설기자재 사용 시 허용응력 저감 적용

❖ 「가설공사표준시방서」 제4장 4.1 일반사항

재사용 동바리 부재의 허용압축응력은 재사용 가설기자재의 성능저하에 따른 **안전율 1.3**으로 나눈 값을 사용한다. 다만, “재사용 가설기자재 자율등록제”에 등록된 동바리 부재의 허용압축응력은 **안전율 1.15**로 나눈 값을 사용한다.

덧붙임 1. 하중조합을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석 필요성

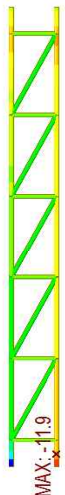
2. 건설기술진흥법 상 구조검토 의무 및 전문가의 자격 등

하중조합을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석 필요성

CASE I 가새 설치에 따른 해석 결과 비교[예]

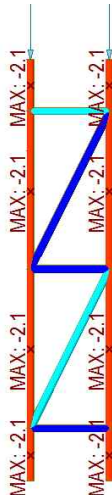
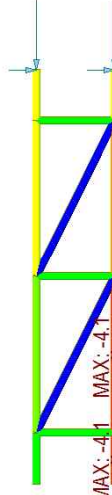
가새 전체 설치	가새 일부 설치
	
수직재에 발생하는 최대응력(f) : 11.9MPa	수직재에 발생하는 최대응력(f) : 15.7MPa
※ 결 론 : 가새를 일부만 설치할 경우 수직재에 발생하는 응력이 커짐 → 2차원 또는 3차원 구조해석을 통해 안전성이 확보되도록 가새를 적절히 설치	

CASE II 최 상·하단 수평재 설치위치에 따른 해석 결과 비교[예]

최 상·하단 수평재 설치높이 40cm	최 상·하단 수평재 설치높이 100cm
	
수직재에 발생하는 최대응력(f) : 11.9MPa	수직재에 발생하는 최대응력(f) : 18.9MPa
※ 결 론 : 최 상·하단에 설치되는 수평재와 지점과의 이격이 클 경우 수직재에 발생하는 응력이 커짐 → 최 상·하단에 설치되는 수평재와 지점과의 과다 이격 설치 지양	

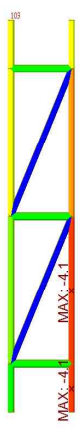
CASE III

하중조합 고려여부에 따른 해석 결과 비교(예)

수직하중만 재하	수직하중과 수평하중 동시 재하
	
수직재에 발생하는 최대응력(f) : 2.1MPa	수직재에 발생하는 최대응력(f) : 4.1MPa
※ 결 론 : 수직하중과 수평하중이 동시에 작용할 경우 수직재에 발생하는 응력이 커짐 → 하중조합을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석 필요	

CASE IV

동바리 설치높이에 따른 해석 결과 비교(예)

동바리 설치높이 : 3.2m	동바리 설치높이 : 6.8m
	
수직재에 발생하는 최대응력(f) : 4.1MPa	수직재에 발생하는 최대응력(f) : 6.7MPa
※ 결 론 : 동바리 설치높이가 높을 경우 수직재에 발생하는 응력이 커짐 → 하중조합을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석 필요	

건설기술진흥법 상 구조검토 의무 및 전문가의 자격 등

○ 가설구조물 설계도서 작성 시 구조검토 의무

❖ 「건설기술진흥법」 제48조(설계도서의 작성) [시행일 : 2015. 7. 7]

건설기술용역업자는 설계도서를 작성할 때에는 **구조물(가설구조물을 포함한다)**에 대한 구조검토를 하여야 하며 그 설계도서의 작성에 참여한 건설기술자의 업무 수행내용을 국토교통부장관이 정하는 바에 따라 적어야 한다. 설계도서의 일부를 변경할 때에도 같다. <개정 2015.1.6>

○ 전문가의 자격 등

❖ 「건설기술진흥법」 제62조(건설공사의 안전관리) [시행일 : 2015. 7. 7]

- 건설업자 또는 주택건설등록업자는 동바리, 거푸집, 비계 등 가설구조물 설치를 위한 공사를 할 때 대통령령으로 정하는 바에 따라 가설구조물의 구조적 안전성을 확인하기에 적합한 분야의 「국가기술자격법」에 따른 기술사(이하 “관계전문가”라 한다)에게 확인을 받아야 한다. <신설 2015.1.6>
- 관계전문가는 가설구조물이 안전에 지장이 없도록 가설구조물의 구조적 안전성을 확인하여야 한다. <신설 2015.1.6>

○ 전문가의 안전성 확인 대상 및 인정 분야 [개정안 예고]

❖ 「건설기술진흥법 시행령(안)」 제101조의2(가설구조물의 구조적 안전성 확인) [시행예정일 : 2015. 7. 7]

- ① 법 제62조제7항에 따라 가설구조물의 구조적 안전성을 확인하기에 적합한 분야의 「국가기술자격법」에 따른 기술사(이하 “관계전문가”라 한다)에게 확인을 받아야 하는 가설구조물은 다음 각 호와 같다.
 1. 높이가 31미터 이상인 비계
 2. 작업발판 일체형 거푸집 또는 높이가 6미터 이상인 거푸집 및 동바리
 3. 터널의 지보공 또는 높이가 2미터 이상인 흙막이 지보공
 4. 동력을 이용하여 움직이는 가설구조물
 5. 그 밖에 발주자 또는 인·허가기관의 장이 필요하다고 인정하는 가설구조물
- ② 건설업자 또는 주택건설등록업자는 제1항 각 호에 따른 가설구조물을 시공하기 전에 법 제48조제4항제2호에 따른 시공상세도면을 작성하고, 관계전문가가 서명·날인한 구조계산서를 첨부하여 공사감독자 등에게 제출하여야 한다.
- ③ 제1항에서 가설구조물의 구조적 안전성을 확인하기에 적합한 분야는 공사감독자 등이 인정하는 분야로 한정한다.