

거푸집공사의 사고사례와 사고방지를 위한 체크 포인트

윤상문 / 연구개발부 대리

거푸집공사는 골조의 품질 뿐만 아니라 공사 전체의 품질을 좌우할 수 있는 공정이며 공사의 안전에도 큰 영향을 미치고 있음을 의심하는 기술자는 그리 많지 않을 것이다.

그러나 현재의 거푸집공사는 공사의 근간이 되는 구조계산서나 거푸집 조립도조차 완비하지 않은 채 하도급에 의한 하청업체에서 수행하고 있는 경우가 대부분이며, 사전에 안전성을 심사받도록 되어 있는 유해위험방지계획서조차 실제 공사를 담당하는 하청업체에서 작성하는 경우보다는 원청에서 계획하고 작성되는 경우가 많아 계획과 시공이 별도로 이루어지는 경우가 허다하다.

더욱이 실제 건설현장의 유해위험방지계획서에 근거하여 건축구조 형식에 따라 부재별로 조립도 작성 실태를 조사한 결과¹⁾를 보면, 많은 건설현장에서 바닥 거푸집을 제외하곤 대부분의 거푸집에 대한 조립도나 구조계산서를 작성하고 있지 않음을 알 수 있다. <표 1, 표 2>

이는 현장에서 기본적으로 수행해야 할 거푸집의 안전성을 도외시하는 우리 건설여건을 나타내는 단편적인 예로 거푸집공사에 대한 인식의 전환과 제도적 보완이 필요할 것이다.

<표 1> 거푸집 조립도 작도 실태

구조형식 \ 조립도	계	바닥	보	벽체	기둥
벽식조	25개현장	18현장(72.0%)	-	4현장(16.0%)	-
라멘조	17개현장	13현장(23.5%)	4현장(23.5%)	4현장(23.5%)	4현장(23.5%)

<표 2> 거푸집 구조계산서 작성 실태

구조계산서 \ 구조형식	계	바닥	보	벽체	기둥
벽식조	25개현장	10현장(40.0%)	-	-	-
라멘조	17개현장	6현장(35.3%)	2현장(11.8%)	5현장(29.4%)	3현장(17.6%)

본고에서는 건축현장의 거푸집공사 사고사례를 중심으로 사고의 원인과 유형을 분석하고, 거푸집 사고방지를 위한 체크 포인트를 중심으로 약술하고자 한다.

거푸집관련 사고사례 분석

- 93년도 중대재해사례를 중심으로

93년도 우리나라 건설 현장에서 발생한 중대재해는 636건이었으며, 이중 한국산업안전공단에서 직접 조사한 중대재해는 361건에 재해자 480명이었다.

거푸집공사와 관련된 재해건수는 59건에 재해자수 107명으로, 전체 건설공사의 재해 발생건당 재해인원수 1.33명에 비해 거푸집관련 재해인원수가 많아(1.81명) 거푸집공사 사고의 심각함을 알 수 있다.<표 3>

〈표 3〉 거푸집공사 단위공정별 재해현황

단위 구분	재해구분 (구성비)	재 해 자			재해건당 재해자수
		사 망	중 상	계	
가공및 조립	27(45.8%)	28	2	30(28.0%)	1.11명
콘크리트 타설	14(23.7%)	16	35	51(47.7%)	3.64명
해체	16(27.1%)	16	8	24(22.4%)	1.50명
이동	2(3.4%)	2	-	2(1.9%)	1.00명
계	59(100%)	62	45	107(100%)	1.81명

〈표 4〉 거푸집 작업별 재해현황(단순사고 제외)

구분	작업 구분	조 립	콘크리트 타 설	해 체	계
재해건수(구성비)		8.(27.6%)	14(48.3%)	7(24.1%)	29(100%)
재해자건수(구성비)		9(12.0%)	51(68.0%)	15(20.0%)	75(100%)

거푸집 사고유형

한국산업안전공단에서 조사된 거푸집관련 중대재해사례 59건중 추락이나 감전 등의 단순 사고사례를 제외한 거푸집 공정별 사고유형 및 재해건수는 〈표 4〉와 같다.

이중에서 콘크리트 타설시에 거푸집 구조의 안전성 미비로 인한 붕괴사고가 전체 재해건수의 48.3%, 재해자의 68.0%를 차지하는 것으로 나타나, 타설시의 하중산정과 구조체의 안전성 문제가 어느정도 중요한 것인가를 대변해주고 있다.

특히 슬래브 거푸집의 지점이 되는 강관받침기둥(Steel Support)이 과다하중이나 편심하중을 받거나 지반침하 등으로 인하여 발생하는 붕괴사고는 그 결과의 심각성이 매우 크므로 이 부재에 대한 구조검토와 안정성 확보를 위한 가새, 수평연결재 등의 연결에 각별한 주의를 해야 할 것이다.

작업발판의 붕괴로 인한 사고는 조사재해중 6건(20.7%)이 거푸집공사 전반에 걸쳐 발생하는 것으로 나타나, 거푸집 공사가 관련된 가설공사가 사고의 또다른 요인이 됨을 알 수 있다.

콘크리트 누출에 의한 사고는 조사재해중 2건(6.9%)이 발생하였으며, 응력이 집중되는 거푸집 연결부위에서 발생하여 콘크리트 누출로 인한 하중의 집중 현상이 다른 부재에 영향을 미쳐 2차적인 사고의 원인을 제공하였다. 콘크리트의 누출은 건설현장에서 가장 많

이 발생하고 있는 현실이지만 그 영향이 국부적으로 미치는 경우가 대부분이어서 재해로까지는 확대되고 있지 않지만 그로 인한 인력 및 물자손실 등을 고려해 볼 때 결코 간과해서는 안될 것이다.

그밖에 거푸집의 조기탈형으로 인한 구조물의 붕괴사고나 거푸집의 양중시 혹은 해체된 거푸집의 낙하로 인한 사고사례도 종종 발생하고 있다.

거푸집 사고사례

한국산업안전공단의 93, 94년도 중대재해 속보중에서 거푸집공사에 관련된 몇가지의 사고사례를 유형별로 소개한다.

1) 슬래브 붕괴

① 콘크리트 타설작업중 슬래브 붕괴, 근로자 매몰 사고
 개요 : 1994년 11월 3일 경기도 용진군의 정비고 신축 공사현장에서 콘크리트 타설작업중 슬래브가 붕괴되어 근로자 6명이 매몰되어 3명이 사망함.

상황 : 하단에 비계용 강관파이프를 1~1.2m 간격으로 설치후 상부에 각재 거치후 강관받침기둥 설치

거푸집공사의 사고사례와

원인: 다단으로 설치된 동바리가 콘크리트 타설하중을 견디지 못하여 붕괴

대책: 동바리를 다단으로 설치할 경우 안전성을 확보(가새 및 수평연결재를 연결)

동바리의 상·하부는 미끄러짐이 발생하지 않도록 견고히 연결해야함.

타설시 발생할 수 있는 국부적 하중 집중을 고려한 구조설계가 필요함.

② 1층 슬래브철근과 집공수평연결재 설치 상하 동시 작업중 슬래브 붕괴

개요: 1994년 10월 21일 제주도 북제주군의 퇴비장 공사현장에서 1층 슬래브 철근 조립작업과 하부동바리의 수평연결재 설치작업을 동시에 수행하던 중 슬래브 거푸집이 붕괴되어 1명이 사망하고 13명이 부상당함.

상황: 거푸집 조립 완료후 철근 18톤을 4개소에 분산하여 철근조립작업을 실시함과 동시에 2단으로 설치된 동바리에 수평연결재를 설치하는 작업이 동시에 이루어짐.

원인: 다단으로 설치된 동바리의 안정성을 확보하기 이전에 과도한 자재적치와 작업인원으로 과도한 하중이 발생함.

대책: ①과 동일

자재는 한 곳에 집중되지 않게 분산하며, 작업하중을 초과하지 않도록 한다.

2) 콘크리트 유출

① 엘리베이터 벽체 콘크리트 타설 작업중 벽체 콘크리트의 누출로 작업발판 붕괴

개요: 1993년 11월 29일 경기도 하남시의 아파트 공사현장에서 옥탑층의 엘리베이터 내부거푸집이 벌어지면서 콘크리트가 누출되자 피트내에서 보수작업을 벌이던 중, 작업발판이 누출된 콘크리트 하중(약 9톤)을 견디지 못해 붕괴되어 1명이 추락하여 사망함.

상황: 옥상의 엘리베이터 벽체 높이는 3.7m로 기준층의 높이(2.65m)보다 높은 데도 동일한 구조로 거푸집을 조립 시공하였음. 수직장선을 거푸집이 연결되는 하단까지 연결하지 않고 타설함.

원인: 거푸집 구조검토가 이루어지지 않아 과도한 측압에 대한 저항을 하지 못함. 응력이 집중되는 연결부위의 결속이 미비하였음.

대책: 층고가 변하는 벽체의 측압산정을 달리하여 측압에 적당한 거푸집 조립을 한다. 거푸집이 연결되는 부위는 응력이 집중되므로 결속을 견결히 한다.

3) 거푸집 해체

① 옥상 파라펫 거푸집 해체중 슬래브 붕괴

개요: 1993년 12월 28일 전북 이리시의 국민학교 신축현장에서 옥상난간부위의 슬래브 거푸집을 해체하던 중 난간의 캔틸레버 슬래브가 붕괴되어 1명이 사망하고 2명이 부상당함.

상황: 배근과 두께가 설계도면과 상이한 캔틸레버의 거푸집을 해체하던 중 슬래브가 붕괴됨.

원인: 시공이 설계도면과 상이하게 시공됨. 캔틸레버 등 구조적으로 취약한 부위의 거푸집 해체를 조기에 실시함.

대책: 스판이 큰 슬래브와 보, 또는 캔틸레버 부분은 타공정에 지장을 주지 않는 범위 내에서 존치기간을 연장하여야 함.

② 슬래브 거푸집 해체작업중 상부의 각재 낙하

개요: 1993년 9월 11일 전남 광주시의 연수원 신축현장에서 슬래브 거푸집을 해체하던 중 상부의 각재가 낙하하여 근로자의 머리를 강타하여 사망함.

상황: 목공 2명이 2층 슬래브 거푸집 해체작업을 하던중 멩에 하부의 강관받침기등을 해체하고 지렛대를 이용하여 장선과 멩에를 해체하는 과정에서 각재(90mm×90mm×3600mm)가 낙하함.

원인: 거푸집 해체시 안전수칙을 지키지 않음.

대책: 보밀, 슬래브 거푸집의 해체는 한쪽을 먼저

해체한 후 밧줄등을 이용하여 묶어두고 다른 한쪽을 서서히 해체한 후 천천히 달아내린다. 거푸집 해체 등의 유해 작업을 실시할 때는 보호구를 착용하고, 안전담당자로 하여금 지휘 감독하게 한다.

4) 기타 사례

① 웅벽의 배면 거푸집 띠장 작업중 토사붕괴로 매몰 사망

개요 : 1993년 11월 17일 경기도 화성군의 통합막사 신축현장에서 웅벽 배면 거푸집의 띠장을 설치하던 중 웅벽 후면의 상부토사가 붕괴되어 1명이 매몰사망함.

상황 : 웅벽 배면의 터파기 높이는 6.0m, 법면구배는 1:0.3내외, 우수에 노출된 상태에서 사고당일 터파기 상단에서 물탱크 설치 작업이 있었음.

원인 : 토사굴착법면의 안전구배 미확보, 비가 온 후 전단저항력이 감소되어 사면의 안정성이 저하됨.

대책 : 지반 굴착면의 구배는 안식각 이내로 한다. 안전구배를 확보할 수 없을 경우에는 흙막이 지보공을 설치하여야 하며, 우수유입방지, 상부재하금지 등의 조치를 취한다.

거푸집 사고방지를 위한 체크 포인트

거푸집 관련 사고 유형은 크게 슬래브 거푸집 붕괴사고, 콘크리트 누출사고, 거푸집 해체시의 사고로 구분할 수 있으며, 이들 사고유형별로 사고방지를 위한 체크 포인트를 기술하였다.

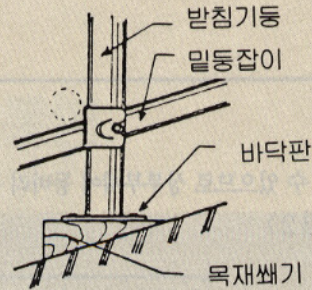
1. 슬래브 거푸집의 붕괴방지를 위한 체크 포인트

- 거푸집에 작용하는 수직하중의 크기를 적절히 산정한다.

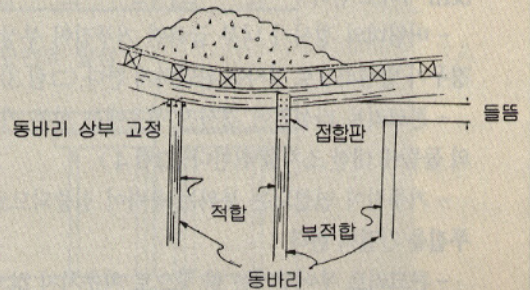
- 특히 자재적치, 콘크리트의 일시적 쌓임, 콘크리트 압송관의 충격 등 일시적으로 발생할 수 있는 하중에 대해 고려해야 한다.

- 콘크리트의 쌓임은 1㎡ 이상의 넓이에서 슬래브 두께의 3배 이내가 되도록 한다.

- 동바리를 다단으로 설치할 경우에는 가새 및 수평 연



<그림 1> 경사진 곳에 동바리 설치



<그림 2> 동바리 상부 고정

결재를 설치하여 안전성을 확보한다.

- 동바리의 상·하부는 미끄러짐이 발생하지 않도록 견고히 연결한다.

- 자재는 한 곳에 집중되지 않게 분산하며, 작업하중을 초과하지 않도록 한다.

- 동바리가 지면에 설치될 경우에는 침하방지를 위하여 두께 5cm 이상의 깔목을 설치하며 깔목 또는 깔판은 2단 이상 끼우지 않는다.

- 동절기 공사시에는 지반이 동결된 상태에서 거푸집을 지지하지 않도록 한다.

- 바닥이 경사진 곳이나 구조물이 경사진 경우에는 동바리 하부에 목재썰기 등을 이용하여 동바리 바닥이 수평이 되도록 하고 서로 고정한다. 목재썰기는 볼트, 못 등으로 바닥에 고정한다.<그림 1>

- 연속되는 슬래브 스팬에서 콘크리트 타설 중에 한 스팬에 적재된 콘크리트의 하중으로 인해 인접 슬래브 및 거푸집(동바리의 위 아래)에 역 처짐이 발생하여 동바리가

전도될 수 있으므로 상부부재에 동바리 두부를 연결한다.(그림 2)

2. 콘크리트 누출방지를 위한 체크 포인트

- 폼타이의 와사와 접하는 한 쌍의 락재 사이가 넓으면 와사가 절곡하는 경우가 있으므로 락재사이는 5cm 이하로 한다.

- 버팀대의 경사가 너무 급하면 거푸집이 부상하는 경우가 발생하므로 경사는 완만하게 한다.(그림 3)

- 콘크리트 타설면이 경사진 경우에는 상부 거푸집의 들뜸에 대한 조치를 취한다.(그림 4)

- 거푸집이 연결되는 부위는 응력이 집중되므로 거푸집을 긴결히 한다.

- 콘크리트 부어넣기는 한 곳으로 치우치지 않게 하며 타설방향은 중앙에서 외부로 한다.

- 콘크리트 호스에서 부터 타설위치까지의 높이는 1.5m 이하로 한다.

- 콘크리트 호스가 콘크리트에 묻혀 과도한 축압이 발생하지 않도록 한다.(그림 5)

3. 거푸집 해체시

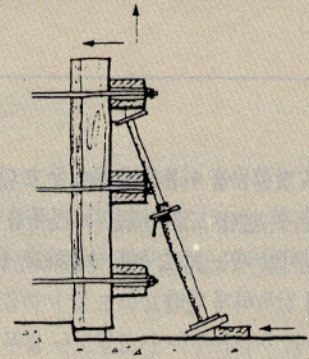
- 거푸집의 해체시기는 준치기간이 지난 후에 실시한다.

- 스패인 큰 슬래브 또는 보의 거푸집은 중앙에 부모멘트를 피하기 위하여 중앙을 먼저 해체하고, 양 옆을 해체한다.(그림 6)

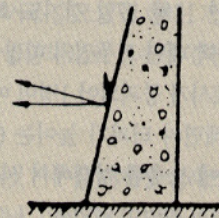
- 시공준눈이 있는 스패인 그와 인접한 스패인의 거푸집은 시공준눈의 변형을 방지하기 위하여 인접 스패인의 콘크리트가 타설된 후에 해체한다.(그림 7)

- 스패인 큰 슬래브와 보, 또는 캔틸레버 부분은 타공정에 지장을 주지 않는 범위 내에서 동바리의 준치기간을 연장한다.

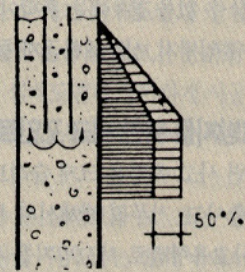
- 보밀, 슬래브 거푸집의 해체는 한쪽을 먼저 해체한 후 밧줄등을 이용하여 묶어두고 다른 한쪽을 서서히 해체한 후 천천히 달아내린다.



〈그림 3〉 경사가 급한 버팀대



〈그림 4〉 경사진 거푸집의 들뜸

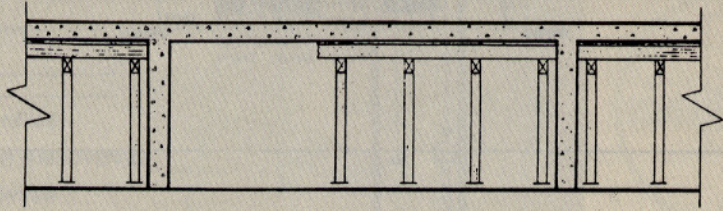


〈그림 5〉 과도한 축압의 발생

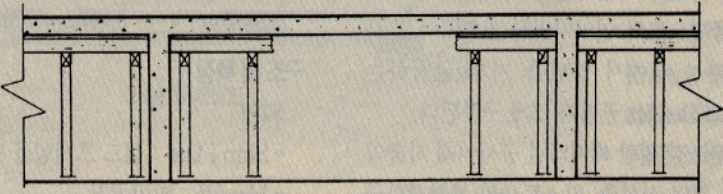
- 거푸집 해체 등의 유해작업을 실시할 때는 보호구를 착용하고, 안전담당자로 하여금 지휘 감독하게 한다.

맺음말

본고에서는 콘크리트공사에 많은 영향을 미치고 있으나 그동안 기술자들의 관심이 부족하였던 거푸집공사에서 발생한 사고사례를 중심으로 사고의 유

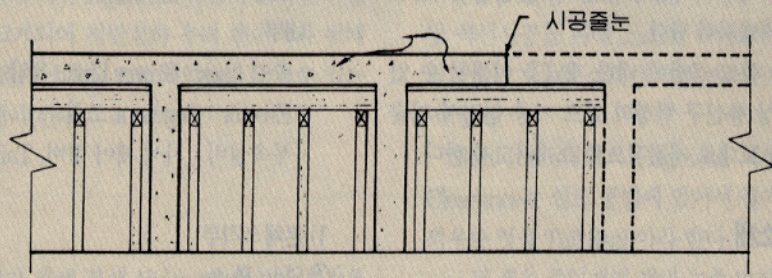


a. 부적합 : 중간에 부모멘트 발생



b. 적합 : 설계와 같은 방향의 처짐

<그림 6> 큰 스팬의 거푸집 해체



<그림 7> 시공준눈이 있는 스팬의 거푸집 해체

시공준눈에서 변형이 생기지 않도록 인접콘크리트가 타설될 때까지 거푸집을 해체하지 않는다.

형과 원인을 분석하였고, 사고방지를 위한 체크 포인트를 알아보았다.

거푸집 관련 사고사례는 건설 경험이 조금이라도 있는 기술자라면 누구나 한두번 이상은 직접 접한 경험이 있을 만큼 특별한 사례는 아닐 것이다. 그러나 그동안 기술자들의 관심 부족으로 사고방지에 대한 노력이 미비해왔던 것도 부인하기 어려울 것이다. 관심을 갖기엔 너무 사소한

것이라고 혹은 다른 할일이 너무나 많다고도 생각할 수 있을 것이다.

그러나 거푸집공사는 골조와 공사전체의 품질을 좌우할 수 있는 공정일 뿐만 아니라 공사 안전관리의 주요 요인임을 주지하여 더 이상 기술자들의 관심 밖에 머물러 있지 않기를 바라는 마음이다. S