

무량판구조형식의 건물 시공시 유의사항

- 실패사례 중심 -



김 상 모 기술인증사협의회 이사
(주)반석TVS 대표

1. 서론

요즘 세상을 살면서 광케이블시대의 빠른 속도에 적응해 버려 여유가 없이 살아서인지 듣고 싶은 말만 듣는 경향과 말의 서두만 듣고 가볍게 판단해버리는 경향이 있다.

책을 보거나 심지어 건축구조기준 또는 건축공사 표준시방서도 첫 부분만 자세히 읽고 이후부터는 설렁설렁 넘기는 경우가 많아진 것 같다.

처음부터 끝까지 자세하게 읽고 습득하려는 노력이 많이 줄어들어 문제를 경험하게 된 후에야 분석해서 이해하고 조심하려 한다.

어떠한 문제나 사고의 소식을 듣고 이에 대해 자세히 알아보지도 않은 채 “어떠어떠하다더라.”라고 소문을 만드는 경우가 있다. 이 소문 때문에 사고의 원인이 따로 있음에도 불구하고 주변에 있다는 이유로만 오해를 사는 경우가 있는 것 같다.

특히 주변의 것이 일반적이지 않고 특수할 경우에는 그 오해는 더욱 깊어진다.

더욱이 기존의 방식에 적응해왔던 환경을 중심으로 새로운 것에 대한 이해를 단순하게 처리하려는 경향이 있다. 비단 건축구조분야의 전문가도 관심을 가져야할 부분에도 비전문가가 기본에 충실하지 않고 습관적으로 대응해버리는 모습을 보면 개탄스럽기까지 하다. 어떤 건축감리는 간단한

것도 도장이 찍힌 서류만을 챙기는 자가 있는가 하면 자세히 들여다보지 않고 항상 함께하는 시공사의 입장만을 듣고 괜 찮겠지 하는 마음으로 쉽게 판단해버리는 혹자도 있다.

이방향중공슬래브 공법을 적용한 무량판구조의 건축물을 현재까지 80여건의 현장을 시공하면서 유사한 사고가 두 차례에 걸쳐 발생하였다. 이 사례에서 나타난 사고의 원인을 구체적으로 확인하고 시공시 유의해야할 사항을 정리하여 무량판 구조설계시 추가로 안전성을 확보하는 방안을 제시 하고자한다.

2. 본론

건축공사 표준시방서를 근거로 보 또는 슬래브 하부의 거푸집 동바리 해체시기는 콘크리트강도가 완전히 발휘되는 4주 양생 후에 해체할 경우 충분히 안전한 것으로 인지하고 있다.

좀 더 깊숙이 고려하자면 양생의 조건에 따라 콘크리트의 강도발현이 조금 차이가 있으나, 보통 1주일 양생이면 60~70%의 압축강도가 발현되기 때문에 이를 엄격히 지키지 않는 경향이 있다. 하지만, 콘크리트 타설후 초기 며칠동안은 동결에 대한 염려도 고려해야하고 콘크리트가 충분히 양생되지 않은 상태에서 동바리가 철거되어 균열이 발생하거나, 건조수축에 의한 처짐 량의 증가도 고려해야한다.

게다가 상부층의 콘크리트 타설 및 작업하중에 대한 무게가 구조설계시 고려된 마감하중이나, 적재하중의 크기를 비교하여 검토한 후에 동바리를 존치하거나 바꿔세우기 등을 고려해야 할 것이다.

이와 같은 사항은 아주 기본적인 사항으로 누구나 쉽게 알고 있는 사항이나, 4주 양생으로 콘크리트강도가 거의 발현되었을 것이라 생각하고 무심코 동바리를 철거해도 좋다고 말해버리는 경우가 발생한다. 다른 환경은 생각하지 않고 그 자체만을 염두한 처사이다.

다음 소개하는 두 현장의 사고발생은 공기가 급해 발주처로부터 압박을 받는 상태였고, 바로 상부층의 콘크리트를 타설하고 있는 날에는 거푸집공들은 콘크리트 타설 중 문제가 생길 경우를 대비해서 현장에 있으면서 특별한 작업은 없는 상태였다.

상부에 신설되는 층의 콘크리트가 거의 타설이 완료되었을 때 하부층의 동바리를 해체하여 다음날 상부층에 먹줄을 놓고 자재를 인양할 준비를 하고 싶어 “이제 상부층에 콘크리트 타설도 다 되어가고, 3주정도 양생되었으면 거푸집을 해체해도 되지 않아요?”라고 시공자와 감리자에게 물은 후에 “공기도 급한데 그러지요.”라는 답변을 들은 후 일부 구간 동바리를 해체하는 도중에 기둥 주변에서 뚫림전단이 발생하였다.

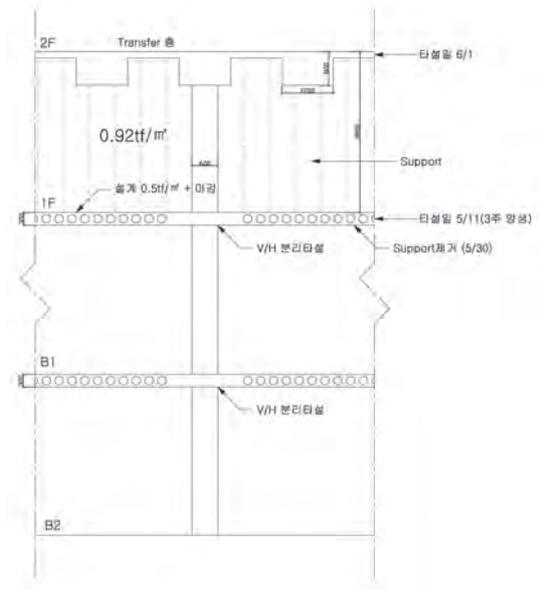
상부의 콘크리트 타설하중과 거푸집 등의 작업하중이 적재하중보다 크지 않는지? 잠시만이라도 고민을 했다면 이러한 문제는 없었을 것이다.

일반적으로 상재하중이 기 설계된 적재하중을 조금 초과한다 하더라도 사고가 발생하기 어려운 것은 사실이다. 여기에는 이 기본적인 내용 외에 추가적인 요인이 더해져서 사고를 일으킨다.

A현장의 사례를 들 면 다음과 같다.

그림 1에서 보는 바와 같이 콘크리트를 타설하는 층은 전이(transfer)층으로 큰 보가 설치되어 자중이 아주 큰 상태였고 이 시공하중을 지지하는 하부층은 무량판 중공슬래브였다. 물론 설계하중보다 콘크리트 타설 층의 자중이 큰 상태였고 콘크리트를 거의 타설해 갈 무렵 뚫림전단에 의해 붕괴되는 사고가 발생하였다.

가장 큰 원인은 상부에 작용하는 하중이 설계하중보다 큰 상황에서 하부층의 씨포트를 조기에 탈형한 것이다.



[그림 1] 2층(전이층) 콘크리트 타설시 동바리 현황

그리고 이 사고에 대해서 조사하는 과정 중에 기둥을 선 타설하고 무량판 중공슬래브를 후 타설하는 V/H 분리타설로 시공한 것이 발견되었다. 기둥이 원형으로 거푸집작업의 용이성 관련해서 선택한 것으로 사료된다.

일반적으로는 분리타설 위치를 슬래브하단 아래에서 하는 것이 원칙이나, 이러한 경우 기둥거푸집과 슬래브거푸집을 연결하여 조립이 어렵기 때문에 기둥을 슬래브 상부 면으로 올라가오게 한 뒤에 슬래브 거푸집을 기둥면에 대는 형태로 시공을 하였다. 이로 인해 그림2와 같이 슬래브 하부 면에서 기둥이 거의 5~10cm나 올라온 상태로 먼저 설치되어 뚫림전단시 적용되는 슬래브의 유효높이를 크게 줄이는 결과를 낳게 되었다.



[그림 2] V/H분리타설에서 오류



[그림 3] 산소 절단면

이것이 두 번째의 원인으로 작용한 것이며, 세 번째 원인은 그림3과 같이 도면을 잘못 판독하여 못 설치된 기둥을 제거하는 과정이다. 상부에 설치된 기둥철근을 콘크리트가 충분히 양생되지 않은 상태에서 타설 다음날 산소용접기를 사용하여 기둥철근을 절단하였다. 기둥 주근의 간격이 조밀하였고 용접절단기의 열 영향을 고려한다면 이미 구멍을 뚫어 놓은 양상이 발생된 것이다. 이와 같이 여러 가지 요인이 결합되어 하나의 사고를 낸 것이다. 앞에서 언급한 세 가지의 요인이 있는 상태에서 건물이 붕괴되는 것은 이미 예고가 된 것이나 다름이 없다.

다음은 B현장의 사례이다.

이 현장도 아주 비슷한 경우이다. 하부층(4층)은 사무실 용도로 적재하중이 3.5KN/m^2 으로 설계하였고 콘크리트 타설층(5층)의 자중은 슬래브 두께가 350mm으로 중공의 효과를 감안한다하더라도 6.0KN/m^2 에 해당한다.

콘크리트 타설층에 타설이 완료되어갈 즈음에 지지층의 동바리를 제거해도 좋다는 승인을 감리자로부터 얻은 후에 동바리를 제거 하는 과정에서 그림 4와 같이 뚫림현상이 발생하였다.

이방향중공슬래브 시스템에서 중공체가 매립되는 부분의 전단강도는 60%로 저감하기 때문에 전단력이 큰 기둥주변에는 경량체를 매립하지 않고 뚫림 전단에 대한 위험단면의 둘레길이를 2배 이상 확보하게 하고 있다. 이 현장에서 뚫림 전단이 발생한 부분은 중공체가 없는 기둥 주변에서 발생하였다. 물론 설계하중에 대해서는 안전하게 설계가 된 상태이다.



(a) 4층 상부의 뚫림전단 발생 모습



(b) 4층하부 모습

[그림 4] 뚫림전단(punching shear)이 발생한 4층 기둥 주변의 모습

4층 콘크리트를 타설하고 3주의 양생이 지난시점에서 5층의 콘크리트를 타설 후 3층에 설치된 동바리를 제거하다 발생한 사고이다. 일반적으로 3주의 양생일 경우 콘크리트 강도가 상당량 확보되기 때문에 쉽게 붕괴되는 것은 아닐 것이다.

하지만 4층의 콘크리트 타설 후 다음날 최저기온이 영하 2.2도이고 평균기온이 0.5도였으며, 이틀째의 평균기온은 영하의 날씨였다. 이러한 환경에서 바닥슬래브의 상부가 제물치장 마감으로 바닥에 자국이 생길우려가 있어 별도의 보양을 하지 않았으며, 하부에서만 갈탄에 2~3일정도 불을 지폈다고 한다. 습기를 갖고 있는 콘크리트 상부표면에 바다가 그리 멀지 않은 곳에서 찬바람이 닿을 때의 상황을 고려한다

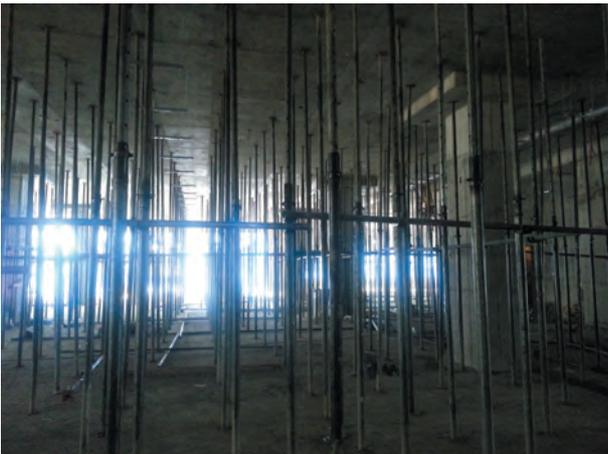


면 동결피해의 우려도 고려해야했을 것이다.

날짜로는 3주의 양생이나, 양생기간동안 평균기온으로 영하의 날씨는 양생일에서 제외하고 0~5도일 경우에는 반일로 취할 경우 2주 양생도 채 못 미치는 정도였다.



[그림 5] 5층의 콘크리트 양생전 처짐



[그림 6] 3층에 재설치한 동바리 모습

그림 5에서 콘크리트 타설 직후 양생이 되기 전에 변형이 발생된 것을 알 수 있다.

이 현장에서 일어난 사고의 주요원인은 설계하중 보다 큰 5층의 자중을 고려치 않은 상태로 동바리를 조기에 해체한 사항이었으며, 4층바닥 콘크리트의 보양이 잘 못되었으며, 충분한 양생일을 지키지 못한 점으로 판단된다.

3층의 거푸집을 제거한 부분에 임시로 재설치된 부분의 동바리 또한 4m의 층고에 설치된 것으로 횡부재를 한 방향으로만 설치하여 안전성을 확보하지 못한 상태이다. 동바리

의 단면이 원형으로 방향성이 없으므로 횡부재를 효과적으로 설치하려면 양방향으로 설치하여야 하는 것이 바람직하였을 것이다.

3. 결론

당연하다고 생각하는 일들을 순간적으로 생각없이 행동해서 어이없는 사고를 만들 듯이 사소한 이유로 큰 문제를 만드는 일을 접하게 되면서 보다 조심하게 된다.

이러한 사고사례의 경험과 과거에 외국사와 협력하여 구조설계를 할 때 그들의 구조도면에는 앞부분에 구조설계시 반영한 사항과 특기시방사항을 명기한 부분이 있었던 것을 기억하여 일반적으로 표준시방서에 따르는 부분일지라도 구조도면 일반사항에 특기시방서를 별도로 마련하기로 했다.

구조기술사들은 당연하게 생각한 부분이지만 건축사나, 시공기술자에게는 쉽게 간과하거나 모르는 사항일 수도 있다는 점을 유의해서 다소 우려되는 사항이 있을 경우 이를 주지시켜주는 문구 하나라도 표기하여 당부하는 것이 좋을 것 같다.

물론 건축구조기술사가 현장에서 감리를 하였다면 일어날 수 없는 상황으로 판단되지만 현행법상 우리 엔지니어가 미력하나마 해야 할 부분이 있다면 귀찮은 일이라도 신경을 써야할 부분이 많을 것으로 판단되며, 책상에서 단순히 계산만을 하는 것이 바람직하지는 않게 여겨진다.