

구조물의 개념, 계획, 설계 및 상세에서의 총체적 결함 제거

(Avoiding Gross Errors in Concept, Planning,
Design and Detailing of Structures)

A. Douma, Milo S. Ketchum, Frank A. Randall, Jr. M. Saeed Mirza, Lawrence E. Svab, C. Donald Johnson and Theodore G. Steime

본논문은 「ACI Journal/October 1973」에 실린 것으로 ACI Committee 348의 '구조안전' 연구의 일부이다.

譯 : 孫 基 詳

韓國産業安全工團 産業安全敎育院 敎授
建設安全技術士
工學博士

건설중 때때로 구조물의 붕괴에 관하여 정보를 듣고 매체 등을 읽는 경우가 아주 다반사이다. 대부분의 경우, 구조물이 붕괴되면 인명손실이 뒤따른다. 통상, 이러한 재앙은 광범한 조사를 수반하며, 전문가들은 그러한 사고의 원인과 책임을 규명하려 한다. 재난의 징후가 나타난 후에 올바른 조치가 취해진 경우에 관하여 정보를 갖지 못하는 것이 일반적이는데, 이 조치를 취함으로써 부분적 혹은 전체적인 붕괴를 막을 수 있지만 대개 관계 당사자들에게는 비용이 많이 든다. 자연현상에 의한 붕괴 경우를 제외하고는, 붕괴는 대개 개념, 계획, 설계, 제도 혹은 시공 등 “총체적 결함” 때문에 일어난다.

“총체적 결함”이란 용어는 정의하기가 쉽지

않지만 편의상, 자체로서 하나의 구조물을 위협하게 하는 어느 조건이 갑작스런 파괴를 일으키는 원인이 되거나 구조물의 사용성을 극히 제한시키는 결과를 가져오는 것으로, 유능한 설계자에 의하여 예측될 수 있는 것이며 결국 총체적 결함의 결과이다.

본논문은 ACI 위원회 348의 “구조안전” 연구의 일부로서 준비된 것으로 총체적 결함을 다음 항목들에서 제거하기 위한 몇 가지 견해를 밝히고자 하는 노력이다.

1. 개념과 계획
2. 설계
3. 제도

구조설계의 품질은 계획 및 개념, 설계기법, 재료 및 구조에 관한 지식과 관련한다.

실무에 종사하는 엔지니어는 대개 정확하고 명백한 것에서부터 부정확하고 불명확한 것까지 망라되는 이동분야 관련문제들을 폭넓게 검토한다.

실무 엔지니어는 모든 결함을 제거할 수는 없지만 총체적 결함을 제거하는 데 집중하여야 한다. 설계과정을 주의깊게 감리할 경우 이러한 총체적 결함은 배제할 수 있다.

개념과 계획(Concept and Planning)

건축가와 엔지니어 사이의 협조는 아주 초기에서부터 중요시된다. 구조 엔지니어가 건축가와 교감을 갖는 것, 또 개념적 단계에서 리더십을 제공하는 것, 구조의 개념이 (착상) 기능적 여건을 확보하는 것이 바람직하다. 구조 시스템이 결점을 갖게 되면, 그 구조물은 대개 만족될 수가 없게 된다. 구조 엔지니어는 적극적으로 지속적으로 기계, 전기 에너지와 교감(교류)을 해야 하고, 또 시공방법이 문제가 될 경우 시공자와 교류를 가져야 한다. 계획 단계에서 상이한 규범이 협조되는 것은 중요하고도 필수적이라 하겠다. 건축가나 전기·기계 엔지니어에게 만들어진 양여사항은 결국은 불안정한 조건이 되는 문제점들이 축적되지 않도록 확실히 하기 위하여 자세히 관찰되어야 한다.

설계와 그 검토를 위해서는 충분한 시간과 적절한 예산이 뒷받침되어야 한다. 최종기한이 현실적으로 뒷받침(선택)되어야 한다. 엔지니어는 전체 도면을 구상하도록 하고 변경될지도 모를 건축적 결정이 되기 전에 앞서 결정하는 일이 없도록 한다. 구조물에 관한 이해, 구조물의 형상화, 요구조건, 하중, 특기할 만한 특징들을 구하기 위하여 생각하고 연구하는 데는 물론, 예비계산을 하는 데 충분한 시간이 주어져야 한다. 처짐, 미나변위, 주요하중단계를 통한 강도 및 응력, 주기하중에 대한 응답, 파괴

모드, 기타 문제들을 포함하여 바람직한 구조물의 거동을 정의하고, 설계에 대한 접근 방법을 기록해야 한다. 새롭고 혼치 않은 구조물이 시도되면, 앞서있던 개척자와 기타 의견을 고려해야 한다.

적절한 토질조사의 중요성은 항상 강조되고 있다. 토질조사 영역은 엔지니어나 기초전문가에 의해서 실행되어야 한다. 토질조건에 의한 제한사항은 건축가에게 설명해서 불합리한 사항이 전개되지 않도록 해야 한다.

재하기준의 정의시에는 건축가와 확인하고 체크해서 주의깊게, 완전하게 하여야 한다. 규준은 최소로 해야 하지만, 판단은 필요시 규준값 이상이어야 한다. 높은 불확실성은 사무소 건물의 바닥 일부를 창고로 사용하는 경우와 같은 적합한 설계하중 선정에 있다.

어떤 경우에는 세우기 공정상의 하중이 프리캐스트와 현장 타설 구조물 양쪽에 모두 주의깊게 고려해야 한다.

구조 부재가 조립식일 때, 디자이너는 제조업자의 조언을 들어야 한다.

엔지니어는 구조물을 완전히 재사고하지 않고서 한 현장에서 또다른 현장으로 설계를 이식해서는 안된다. 이러한 실책으로 교량의 가설지시대 붕괴가 발생하여 사망 10명, 부상 50명의 재해를 안았다.

설 계(Design)

분석평가도 설계기능에 포함되며 분석절차의 관리가 필요하다. 구조물에 대한 적용 설계하중의 최종선택은 비구조건물 재료에 관한 건축가 선택, 계획된 기능과 건물의 사용도, 건물의 지리적 위치 등에 따라 영향을 받는다. 고정하중과 적재하중은 대개 규정에서 잘 확립되어 있지만 모든 가능성들, 예를 들면 바람에 의한 흡입효과 그리고 지붕 입면의 급격한 변화에 따른 국부적 설하중 집중 등에

대한 세심한 고려를 해야 한다.

비록 엔지니어의 작업 추진력이 마감생산(준공)에 대한 쪽이지만 시공중에 구조물이 영향받을 수도 있는 가설하중을 고려해야 한다. 예를 들면, 세우기 공정하중에 의해 생긴 응력 계산은 현장타설 시공에서는 물론 프리캐스트 지지구조부재가 이것을 지지하는 부재보다 먼저 설치될 수 있다. 수직으로 스팬이 된 지하실 벽에 대한 상부지지가 바로 1층 바닥 슬라브가 되는 것이 적절한 한 예이다. 구조물의 일부가 또하나의 부분을 지지하는 것을 엔지니어가 이용하고 있는 경우는 지적해 주기 위하여 작업도 관련 세우기공정 유의사항을 이용해야 한다.

시공중에 발생할 수 있는 조건들 때문에 미완성 부분 양생 콘크리트에 실리는 작업하중의 영향, 동절기 콘크리트 양생, 부적절히 지지된 보의 압축 플랜지 등 구조물을 손상시키는 일이 없도록 해석시 확실히 해야 한다. 그러나 어떤 유형의 하중은 구조물의 거동을 이와 관련한 필요해석을 간과해서는 특별 해석을 지시해야 하고 하중의 특성에 따라 지시되는 해석예들은 다음과 같다.

즉 바람지진의 수평하중해석, 창고 등 고적재하중의 패턴 하중해석, 반복하중영향에 따른 피로 해석, 피인 물에 의한 수평지붕골조부재의 해석 등이다. 구조거동에 따른 해석예는 다음과 같다. 즉 지지대 침하에 의한 모멘트와 힘의 결정, 부재 변형, 크리프, 온도변화에 따른 2차응력 산정, 실제 주위 조건들과 프리스트레스 콘크리트 시공의 영향에 따른 손실 평가 등이다.

철근 및 프리스트레스 콘크리트가 휨과 휨전단보다 전단에 훨씬 더 민감하다. 부하가 좋으면 휨 크랙이 단히지만 전단 크랙은 열린 채로 있고 충분한 늑근 보강이 주어지지 않으면 붕괴원인이 된다.

구조물의 기계설비 시스템의 통합도 구조해석을 필요로 한다. 즉 일반적으로는 유공웨브로 설계해야 하는 보와 펀칭 쉬어(punching shear) 변수를 효과적으로 해석해야 하는 기둥 주위에 개구부가 있는 슬라브들이다.

적용설계하중이 선택되고 필요해석들이 확립된 후, 엔지니어 임무는 조직적 완성의 하나가 된다. 작업이 쉽게 체크되고, 작업도면에 전달될 수 있고, 제3자에 의해 장래에도 즉각 해석될 수 있는 방식으로 설계산정이 이루어져야 되는 것을 엔지니어는 알아야 한다.

응축과 온도영향을 고려하여 익스팬션과 시공 조인트를 설계해야 한다. 이들 조인트들이 공학도면에 표시되어야 하고 상세하게 작업도면에서 다루어져야 한다.

설계가 완성된 후에 설계 과정에서 고려된 것과 고려되지 않았던 것에 관하여 때때로 문제가 발생되므로, 엔지니어는 자기의 접근방법을 기록하는 것이 바람직하다. 이렇게 함으로써 직접적으로(자기 손으로) 문제점에 관하여 객관적으로 좀 더 생각하는 데 엔지니어에게 도움이 된다. 다음과 같은 구조설계 데이터를 엔지니어가 기록하도록 제안되고 있다. 즉 재료상수(콘크리트, 철근강도, 토질 특성 등), 지배하는 건축법규 설계하중, 건축법규 값(공인된)과는 다른 설계하중, 사용분석방법(모멘트 계수, 직접설계 혹은 등가골조법, 포탈 혹은 캔틸레버, 바람해석, 컴퓨터 해 등)이다. 설계자는 자신이 사용했던 설계보조 다이어그램, 표(예를 들면 늑근간격도표, T형보의 기하학적 특성곡선 등)의 출처를 기록하여야 한다.

반복산정들에 대해서는 표 양식의 이용이 권장된다. 예를 들면 변단적재하중 및 고정하중강도 영역, 기둥하중과 모멘트 검색 양식, 기둥설계 양식, 바람이나 지진전단, 전도 모멘트 표 등이다.

검토와 체크 작업 항목 리스트에는 다음 내용이 포함되어야 한다.

1. 강도에 필요한 콘크리트 횡단면 치수
2. 종방향, 횡방향 철근 배근
3. 부족배근 휨 단면과 기둥의 철근 배근비의 한계
4. 즉각적인 것과 장기적인 사용하중 처짐
5. 수평하중 이동
6. 진동 영향
7. 정하중 균형의 만족도
8. 기둥 세장비
9. 깊은 보(Deep Beam) 거동
10. 다이어프램(diaphragm) 비례
11. 수평하중 영향의 내력도
12. 연성(延性 : ductility)

도면작업(Drawings)

공학 및 상세도면들은 압축된 형태로 계획과 설계단계의 최종결과를 보여준다. 다른 서류들에 따른 도면작업은 구조물 축조방법에 관하여 시공자(도급자)에게 교육사항으로 사용되고 기본계약의 일부가 된다. 도면은 완전해야 되고 충분히 상세하여 어떠한 오류도 생기지 않도록 해야 하고, 당해 도면으로는 오직 한 개의 구조물만이 축조될 수 있는 것이어야 한다.

제도원칙을 용인한 규준은 일반적으로 배치도와 도면표시일람에 사용되어야 한다.

엔지니어는 일반적 주의사항과 대표적인 예정표판으로 대체하여 도면준비를 생략해서는 안된다. 일반 유의사항과 대표적 예정표들이 제 위치를 갖고 필수적인 면, 이것들에 대한 신뢰는 도급자로 하여금 구조적으로 불안정한 구조물을 축조토록 하는 길이 될 수 있다.

도면에서 오류를 피하기 위하여, 도면들을 주의깊게 체크하는 것이 필수적이다. 일단 시공이 시작되면 오류는 축조중에 있어 콘크리

트에 숨겨져 있거나 발견시 지연을 초래하게 된다.

특히 기초복도는 치수를 세심하게 결정해야 할 필요가 있고, 입면은 분명히 도면에 표시해야 한다.

기초도면과 시방서들이 적절히 되메우기(성토) 작업방법을 설명해 놓아야 하는데 되메우기 작업이 기초벽의 구조적 지지대가 될 경우는 특히 그러하다.

철근 콘크리트 도면의 필요 일부를 공정표가 이루고 있지만 오류로 해석되지 않는 방식으로 표현되어야 한다. 철근의 절단 요령은 도면이나 다이어그램에 도시하고 공정표에 교차 참고가 되어야 한다.

공학도면이 전체 프로젝트의 상세사항을 제시하지는 못하지만, 이 도면들은 시공도률 제3자에 의해 준비시켜서 충분히 보충될 수 있다. 공학도면은 완전해야 하고 각 항목들이 어떻게 상세화 되는지 정확히 도시되어야 한다.

시공도(제작도)는 도면의도에 대하여 체크되고 승인되어야 하고, 시공도(제작도)에 대한 책임이 분명히 특기 되어야 한다.

요 약(Summary)

오늘날의 수많은 구조물의 영역과 복잡성의 증가로 인하여 큰 오류와 수반되는 구조물 붕괴를 피하기 위하여 착상, 계획, 설계, 상세 작업 단계에서 충분히 생각하고 체크하는 데 시간을 충분히 사용하는 것이 중요하게 되었다.

완성구조물이 시험기간을 거칠 때까지 설계가 실질적으로 완료된 것은 아니다. 고로 설계 엔지니어는 시공중 구조물에 익숙해 있어야 하고 시공 내내 지속적인 관심을 갖고 있어야 한다.