

초기-재령 콘크리트 : 시공하중, 거동, 파괴

Early-Age Concrete : Construction Loads, Behavior, and Failure

본 소고는 ACI에서 발행된 Concrete International의 1994년 1월호에 수록된 Dov Kamnitsky와 Perides C. Scharnos에 의한 Early-Age Concrete Construction Loads, Behavior, and Failures를 번역 소개한 것이다.



김 중 구*

1. 서 론

콘크리트 골조의 예상강도가 충분히 발현되지 않을 때, 콘크리트 구조물은 시공중 부분적으로 또는 전체적으로 붕괴될 수 있다. 구조물의 전체적인 붕괴만을 파괴로 생각할 필요는 없다. 넓은 범위의 다른 결함(즉 과도한 바닥의 휨, 균열, 박리, 곰보, 장기처짐의 증가, 부품, 비정렬)은 추후 구조물의 수명내에서 유지나 사용성에 심각한 문제를 일으킨다.⁽¹⁾

만족스러운 성능과 시공중 구조적 안전성을 확인하기 위하여서는 초기-재령 콘크리트 부재에 적용되는 시공하중에 대한 완벽한 이해가 필요하다. 또한 구조물의 자중과 예상시공하중을 지지하는데 소요되는 초기-재령 콘크리트 부재의 거동과 강도 능력에 대한 지식도 중요하다. 몇몇 시공 파괴 사례를 선택 연구함으로써 건물 시공과정의 몇 가지 일계양상을 설명한다.

2. 시공하중

시공하중은 시공고정하중과 시공적재하중으로

나눌 수 있다. 일반적으로 콘크리트 슬래브와 거푸집의 하중을 포함하는 시공고정하중은 상당히 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 시공적재하중의 정확한 예측은 매우 어려운 일이다. 이 하중은 작업자의 무게, 장비, 재료, 통로와 콘크리트의 타설과 장비의 동작에 의한 충격하중을 포함한다. ACI 347⁽²⁾은 시공적재하중으로 50 psf(244kg/cm²)을 제안한다.

또한 횡하중, 풍하중, 인양하중, 거푸집을 경사 방향으로 지지하는 부재에 의한 하중, 시공재료의 적치에 의한 일시적 하중, 콘크리트의 비대칭 타설에 의한 하중을 기본적으로 고려하여야 한다.⁽³⁾

용어설명

- 지주(shores) : 거푸집과 콘크리트의 무게 및 상부의 시공하중을 지지하기 위하여 설계된 수직 또는 경사 지지부재.
- 재지주(reshores) : 넓은 부위의 거푸집이나 지주를 제거한 후 콘크리트 슬래브나 구조부재 밑에 간단하게 설치하는 지주. 그러므로 슬래브와 구조부재의 처짐을 허용하고, 슬래브나 구조부재의 자중 및 지주를 설치할때 존재하는 시공하중을 지지하지 못한다.
- 후지주(backshores) : 좁은 부위의 거푸집이나 지주를 제거한 후 콘크리트 슬래브나 구조부재 밑에 간단하게 설치하는 지주. 그러므로 슬래브와 구조부재의 처짐을 허용하지 않으며, 원래의 지주가 지지하던 하중과 같은 하중을 지지하는 것으로 가정한다.

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 강사

2.1 시공하중의 분배

거푸집 시스템과 새로 타설 지지된 콘크리트 부재 사이에 시공하중은 어떻게 분배되어야 하는가? 여러 수준(level)의 거푸집과 지주를 가지지 않은 구조물의 경우 시공하중의 분배는 쉽게 결정할 수 있다. 그러나 여러 수준의 지주와 재지주를 필요로 하는 다층 구조물을 취급할 때 지주시스템과 콘크리트 슬래브-기둥 골조 사이의 상관관계는 매우 복잡하다.

ACI 347⁽²⁾에 다층 건물의 지주, 재지주, 후지주의 작업에 관한 기준을 제시하고 있다. 그러나 여기서는 새로운 콘크리트의 타설 또는 거푸집의 제거로 인하여 이미 완성된 콘크리트에 전달되는 하중을 결정하는 어떠한 명확한 절차도 기술되어 있지 않다. ACI SP-4, Formwork for Concrete⁽⁴⁾에 시공하중의 분배를 위한 Grundy와 Kabaila⁽⁵⁾의 간단한 방법이 제안되어 있다. 연구에 의하면 지주와 재지주를 여러 수준으로 배치하거나 가능한 파괴^(6,7)를 적절히 예측하지 못할 때, 이 간단한 방법은 초기콘크리트 슬래브에 적용되는 시공하중을 과소평가한다.

Gardner⁽⁸⁾와 Liu⁽⁹⁾ 등은 내재된 오차를 보완하기 위하여 간단한 방법을 사용하여 계산한 시공하중 해석결과를 10% 증가시킬 것을 제안하였다. 우리의 의견으로는 특히 여러 수준의 지주와 재지주가 사용되는 경우 간단한 방법에 의한 실제 오차는 10%를 초과할 것이다.

Stivaros와 Halvorsen⁽¹⁰⁾은 다층건물의 시공중 하중분배를 결정하기 위하여 등가골조법에 의한 해석을 제안했다. 이 절차는 콘크리트 구조물의 연속성과 일체성뿐 아니라 지주시스템의 형식과 강성을 포함한다. 등가골조법과 유한요소 판 휨 모델의 의한 해석을 비교하면 만족스러운 결과를 나타낸다. 반면 간단한 방법은 유한요소해석⁽⁶⁾과 비교하여 만족스럽지 못하게 나타났다.

3. 초기-재령 콘크리트 부재의 강도능력

시공가이드에 대한 여러 기준과 지침서의 일반

적인 요구사항은 예상시공하중을 전달하는 충분한 강도를 얻을 때까지 거푸집을 제거하지 않는 것이다.

초기-재령 콘크리트 부재의 하중능력은 일차적으로 콘크리트 강도의 발현이고 또한 휨, 전단, 부착에 대한 이 부재의 한계상태 제어이다. 콘크리트 부재에 대한 초기-재령에서의 하중능력에 영향을 미치는 또 다른 요소는 이 구조물에 설계된 총 사용적재하중과 사용고정하중이다. 일시적인 시공하중을 전달하기 위하여서는 사용하중의 지지력을 위하여 설계된 부재의 예비강도가 요구된다.

3.1 합리적인 접근방법에 대한 조사

초기-재령 콘크리트 부재의 능력을 평가하는 합리적인 가정은 예상 사용하중을 지지하기 위하여 적절히 설계되었다는 것이다. 시공기간 중 다른 주요소는 초기-재령의 성질 즉 압축강도, 인장강도, 탄성계수이다. 현 기준이나 좋은 기술자실무(engineering practice)는 거푸집을 제거하기 전에 이들 성질중 압축강도만을 시험할 것을 요구하며 초기-재령 콘크리트의 인장강도와 탄성계수는 부분적으로 발현된 콘크리트의 압축강도에 비례하는 것으로 가정한다.

이것은 초기-재령 콘크리트의 실제 거동을 고려하지 않은 가정이다. 여러 기준의 안전 요구사항을 기본적으로 완성된 구조물에 대한 실험과 경험에 기초를 두고 있다. 기준의 규정은 초기-재령 콘크리트에는 적절하지 않다. 초기-재령의 구조물과 완성된 구조물을 콘크리트의 압축강도에 기초하여 직접 비교하는 것은 잘못된 것이다. 초기-재령 구조물을 평가하기 전에 우리 자신에게 물어야 할 몇 가지 기본적인 질문이 있다.

- 초기-재령 콘크리트 부재가 완성된 구조물에서 거동(휨, 전단, 부착)하는 것과 같은 임계모드를 가지는가?
- 28일된 콘크리트의 압축강도와 인장강도, 부착강도, 전단강도, 탄성계수 사이의 관계가 초기-재령 콘크리트에서도 성립하는가?
- 사용상태에서 적용하는 ACI 318 Code⁽¹¹⁾의 하중계수(9.2절)가 시공단계에서도 사용되는

가?

- 강도저감계수 ϕ (ACI 318-89, 9.3절)가 시공 중 콘크리트 강도를 평가하기 위하여 사용되어야 하는가?

3.2 초기-재령 인장강도

몇몇의 연구자들은 초기-재령 콘크리트에 대하여 원형공시체의 압축강도와 인장강도 사이의 관계를 시험하였다. Carino와 Lew⁽¹²⁾에 의하면 인장강도는 원형공시체 강도의 0.71승($f_c^{0.71}$)의 관계가 있다. Gardner⁽¹³⁾의 연구는 전단강도는 콘크리트 규브강도의 제곱근에 비례한다고 제안하였다. ACI 318 Code⁽¹¹⁾에 의하면 인장강도는 원형공시체 강도의 제곱근과 관계가 있다. Carino와 Lew⁽¹²⁾는 ACI Code의 전단능력 규정을 사용하면 완성된 구조물에 적용할 때보다 초기-재령 콘크리트에 적용하면 안전여분이 적다고 지적하고 있다.

콘크리트는 초기-재령에서는 때때로 압축파괴가 아닌 인장균열에 의하여 파괴한다는 것이 일반적이다. 대부분의 전단파괴는 있다 하더라도 매우 작은 사전 경고를 나타내기 때문에 인장강도의 부족, 결과적으로 낮은 전단저항에 의한 콘크리트의 파괴는 슬래브 파괴의 심각한 형태이다.

콘크리트 인장강도의 중요성은 좌시할 수 없다. 콘크리트의 인장강도와 원형공시체 압축강도와의 관계에 대한 다양한 의견 때문에 초기-재령 인장강도를 결정하기 위한 확고한 이론적인 배경을 가지지 못한다. 그러므로 실제 초기-재령 인장강도를 결정하기 위하여 원형공시체 압축시험에 첨가하여 쪼갬시험, 휨인장시험을 행할 것을 권장한다. 초기-재령에서의 균열을 최소화시키기 위하여 이 정보가 중요하다.

3.3 탄성계수

처짐을 측정하기 위하여 콘크리트의 다른 중요한 성질은 탄성계수이다. ACI 318 Code⁽¹¹⁾에는 탄성계수는 콘크리트의 단위중량과 압축강도의 제곱근에 비례한다. 이것은 실험적 관계식이며 초기-재령 콘크리트에 대하여서는 적절하게 규명되어

있지 않다. 탄성계수의 값이 얼마나 결정적이며 또한 초기-재령 구조물의 성능에 얼마나 영향(긴스팬의 큰 처짐)을 미치느냐에 따라, ACI 318의 실험식이 충분히 정확한가 또는 탄성계수값이 실험(ASTM C469, 압축에 있어 콘크리트의 정적 탄성계수와 포아송비를 위한 실험방법)에 의하여 결정되어야 하는가를 판단하여야 한다.

3.4 시공하중계수

ACI 318 Code⁽¹¹⁾는 많은 사용하중의 형태에 따른 하중계수를 규정하고 있으나 시공하중에 대한 규정은 없다. ANSI A10.9(1983)⁽¹⁴⁾은 시공고정하중과 시공적재하중에 대하여 모두 1.3의 하중계수를 추천한다. 우리의 의견으로는 가능한 연구의 다양한 결과로부터 시공고정하중과 시공적재하중의 불확실성을 고려하여 보다 높은 시공하중계수를 제안한다. 필자는 사용상태를 위하여 ACI 318에서 요구하는 보다 안전한 하중계수, 즉 시공고정하중의 경우 1.4, 시공적재하중의 경우 1.7을 좋아한다.

ACI 318 Code⁽¹¹⁾는 시공하중에 대한 강도저감계수 ϕ 의 사용에 관한 언급은 전혀 없다.

4. 초기-재령 콘크리트 파괴

여기서는 Kaminitzky의 책 “Design and Construction Failures : Lessons from Forensic Investigation”⁽¹⁵⁾에 기록된 지난 40년 동안의 조사에 근거를 두고 시공중의 구조물 파괴에 대하여 간단한 설명한다.

콘크리트 시공역사를 통하여 완성된 구조물의 처짐과 균열을 포함한 수 많은 시공파괴가 발생하였다. 그러나 많은 통계적 조사에 의하면 파괴나 총 붕괴는 구조물의 사용연한내보다 시공중에 더 자주 발생한다. 또한 시공중 콘크리트 구조물의 파괴는 거푸집 파괴, 과다하중에 의한 콘크리트 부재의 파괴 또는 콘크리트 강도의 부족의 결과에 의한 것으로 잘 기록되어 있다.

가장 일반적 파괴이고 자주 무서운 결과를 나타내는 파괴는 뚫림전단파괴이다. 이러한 것으로는

상부층의 한개 기둥주위의 국부파괴에 의해 일어나 최하층까지 급속히 연쇄파괴를 일으키는 파괴가 있다. 이러한 도미노 현상 파괴는 한개층의 국부파괴로 국한될 수 있다. 뚫림전단이 가장 취약하므로 슬래브 상하부에 기둥 주변을 따라 연속철근을 가진 큰 기둥을 사용함으로써 연쇄붕괴(그림 1)의 가능성을 줄일 수 있다.

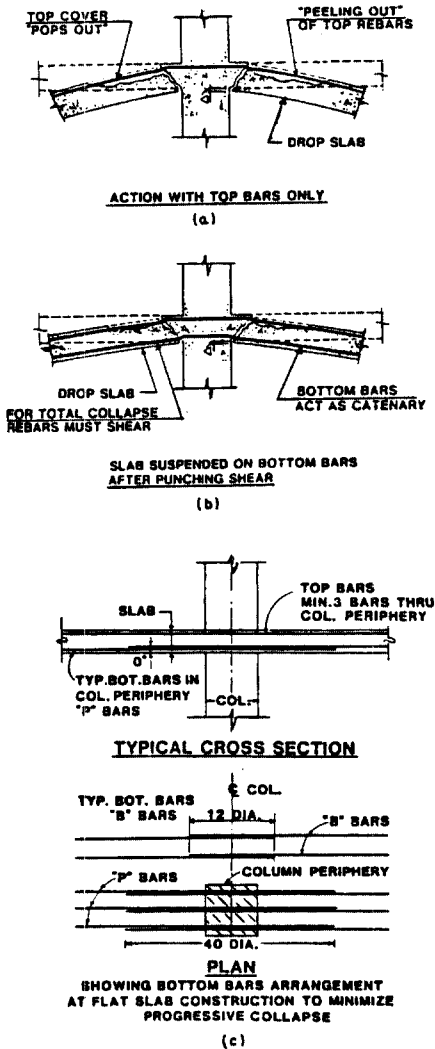


그림 1 평판 슬래브의 뚫림전단 파괴와 보강 (Kaminetzky⁽¹⁵⁾)

가장 무섭고 잘 알려진 뚫림전단에 의한 파괴는 Bailey's Crossroad, Virginia ; Commonwealth,

Avenue, Boston, Massachusetts ; 그리고 Co-coa Beach, Florida 에서 발생한 것이다(그림 2,3, 4). 이들 다층 평판 슬래브건물은 모두 지상까지



그림 2 거푸집 조기제거로 인한 skyline plaza tower의 붕괴 (Kaminetzky⁽¹⁵⁾)



그림 3 Commonwealth Avenue(Boston) 건물의 붕괴 (Kaminetzky⁽¹⁵⁾)

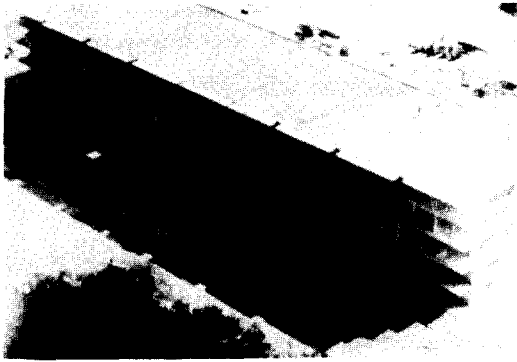


그림 4 Cocoa Beach 건물의 붕괴 전 거의 완성된 모습 (Kaminetzky⁽¹⁵⁾)

연쇄적 방법에 의해 수직으로 파괴되었다. 최초 원인은 대표적인 것으로 슬래브-기둥 접합부의 국부 뚫림전단 파괴에 의하여 발생하였고 연쇄붕괴로 진전되었다. 붕괴시 불충분한 콘크리트의 강도와 결부된 거푸집의 조기제거는 이러한 재난의 부분적인 원인이다. 콘크리트의 강도발현은 이 건물의 시공기간중에 유지된 낮은 온도에 영향을 받았다.

Cocoa Beach 붕괴는 직접적으로 콘크리트의 강도에 의한 것이 아니라 주로 설계와 시공오차에 의한 것이라 할지라도, 거푸집 제거 이전의 강도 결정에 대한 부적절한 관리도 수반되었다. 일반적인 상식이나 적절한 절차에 의하면 현장양생 원형공시체의 시험하여야 하는데 공사기록에 의하면 거푸집 제거 이전의 슬래브의 실제 현장강도를 결정하기 위하여 실험실양생 원형공시체가 사용되었다.

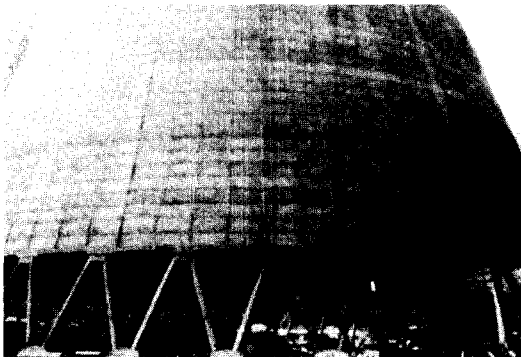


그림 5 Willow Island, West Virginia의 냉각탑의 붕괴후 부분적으로 재건된 모습(Kaminetzky⁽¹⁵⁾)

잘 알려진 다른 붕괴, 아마 최근의 가장 희생이 큰 붕괴는 Willow Island, West Virginia(그림 5) 냉각탑의 붕괴였다. 이 붕괴는 미성숙 콘크리트에 앵커된 임시비계의 파괴에 의하여 발생하였다. 콘크리트는 비계에 의해 전달되는 뽐힘하중에 저항하기 위한 소요강도를 얻을 만큼 충분히 성숙되지 못하였다. 시공과정의 일부로서 조심스럽게 관리된 현장 뽐힘시험계획을 사용하지 않았기 때문에 생콘크리트의 낮은 강도를 감지하지 못하였다.

5. 시공사례

적절한 해석과 평가가 과다하중과 초기-재령 콘크리트 구조물의 가능한 파괴를 어떻게 방지할 수 있는지를 보여 주기 위하여, 우리는 다층 평판 사무실 건물을 조사하였다. 이 예제는 앞서 논의한 몇몇 건물파괴 사례와 비슷한 대표적인 것이다.

5.1 건물

이 다층 평판 건물은 50 psf(244kg/cm²)의 적재하중과 추가로 30 psf(146kg/cm²)의 칸막이하중을 가지고 ACI 318에 따라 설계되었다. 이 예제에는 1개 바닥 수준의 나무지주와 3개 바닥 수준의 나무재지주로 가정하였고 시공속도는 주당 2개 바닥으로 가정하였다. 거푸집과 지주시스템의 하중은 10 psf(49kg/cm²) 또한 상부 슬래브를 타설하기 하루 전 지주와 재지주를 제거하여 재배치하는 것으로 가정하였다. 시공적재하중 50 psf(244kg/cm²)은 상부 슬래브의 콘크리트 타설중

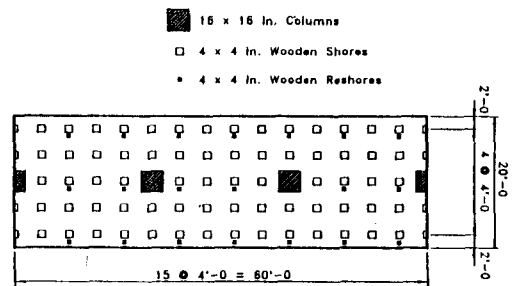


그림 6 시공사례의 대표적인 바닥계획

에만 존재하는 것으로 간주하였다. 지주와 재지주의 위치를 표시한 건물 골조의 대표적인 바닥 평면 계획은 그림 6에 나타내었다.

다른 기하학적, 재료적인 변수는 다음과 같다. 층고 = 10 ft(3.0m); 슬래브 두께 = 7.0 in(180mm); 28일 콘크리트 압축강도 $f'_c = 4,000$ psi(280kg/cm²); 나무지주의 탄성계수 $E_w = 1,500,000$ psi(1.05×10^6 kg/cm²)

5.2 초기-재령 슬래브의 능력

앞에서 언급한 바와 같이 콘크리트의 강도는 초기-재령 콘크리트 부재의 능력에 영향을 미치는 주요 요소이다. 현장 콘크리트 강도는 비파괴 검사법과 함께 현장양생 원형공시체 시험에서 평가할 수 있다. 그림 7에 두 가지의 시공온도 조건 55°F와 73°F에 대한 가정된 압축강도-시간 관계를 나타냈다.

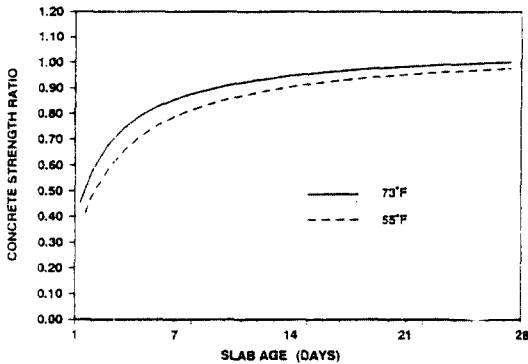


그림 7 재령에 따른 압축강도의 발현

초기 슬래브의 휨강도 능력은 부분적으로 발현되는 콘크리트 압축강도에 비례하여 슬래브의 설계강도 능력에 상당히 연관될 수 있다. 이 예제에서 주요한 가정은 슬래브 설계에서 사용된 사용하중에 대한 하중계수와 강도저감계수를 시공단계서도 같다는 것이다.

전단은 시공거동의 특히 중요한 관점이다. 왜냐하면 대부분의 슬래브 시스템의 전단능력을 콘크리트가 제공하기 때문이다. 그러므로 슬래브의 휨평가 이외에도 시공의 매 단계마다 슬래브-기둥 접

합부에 작용하는 전단응력을 조사하는 것이 중요하다. 수직하중과 복합된 비대칭 모멘트의 전달에 의한 전단은 임계수준에 다다르거나 가끔 슬래브-기둥 접합부의 전단능력을 초과한다. 이 예제에서는 한계전단능력을 ACI 318⁽¹¹⁾에 따라 평가하고 $4\phi\sqrt{f'_c}$ 로 한다. 여기서 $\phi = 0.85$, f'_c 는 하중이 작용할 때의 콘크리트 압축강도이다.

5.3 시공하중해석

지주시스템과 콘크리트 골조사이의 시공하중 분포에 대한 평가를 위하여 등가골조법의 해석⁽⁷⁾에 근거한 컴퓨터 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램은 사실상 1층 바닥에서 지붕까지 구조물을 만들고 매 시공단계마다 지지 지주시스템과 각층 바닥 슬래브의 하중을 평가한다. 뚫림전단 응력을 시공의 각 단계마다 각 기둥의 위치에서 계산한다. 이 프로그램은 시공하중이 작용하는 시점에서 슬래브 부재의 유효하중능력과 슬래브-기둥 접합부의 유효 뚫림전단능력을 제공한다.

그러므로 안전성 비교를 할 수 있다. 그림 8과 9에 시공하중 해석결과를 나타냈다. 이 그림은 시공중 바닥슬래브에 발생하는 최대 계수슬래브하중(슬래브의 자중에 대하여 표준화된)과 뚫림전단을 보여준다. 또한 두 가지 온도조건 55°F와 73°F에서 콘크리트 슬래브의 유효하중과 뚫림전단능력을 보여준다.

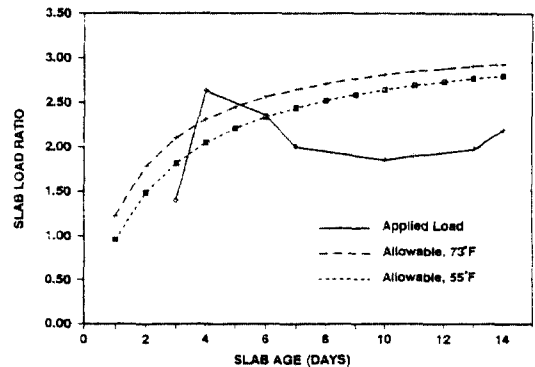


그림 8 허용슬래브하중과 작용슬래브하중, 적재하중=50 psf

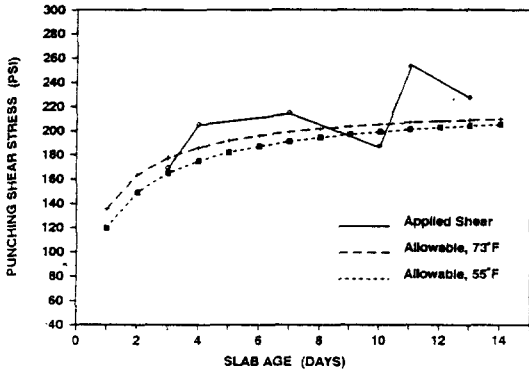


그림 9 허용뚫림전단력과 작용뚫림전단력

그림 8은 두 가지 온도조건하에서 슬래브의 유효하중능력을 초과하는 4일 된 슬래브에 발생하는 최대 작용계수하중을 나타낸다. 이것은 1개층 수준의 지주와 3개층 수준의 재지주를 1주일 에 2개 층 속도로 하는 시공절차는 안전하게 실행될 수 없음을 의미한다. 그림 9에서 작용전단응력이 허용응력을 초과하여 위와 비슷하게 불안정한 시공 조건을 보여준다. 이 예제에서는 휨과 전단에 대한 슬래브의 유효능력을 초과하고 있다. 작용하중이 임계수준임에도 불구하고 휨파괴는 먼저 일어나지 않을 수 있다. 왜냐하면 소성모멘트 재분배가 가능하기 때문이다. 그러나 뚫림전단응력에 대한 재분배는 일어나지 않을 것이다. 휨에 대한 경 고가 일어나기 전에 갑작스런 전단파괴가 일어날 것이다.

만약 위 건물중 몇몇 층이 도서관 지역을 위한

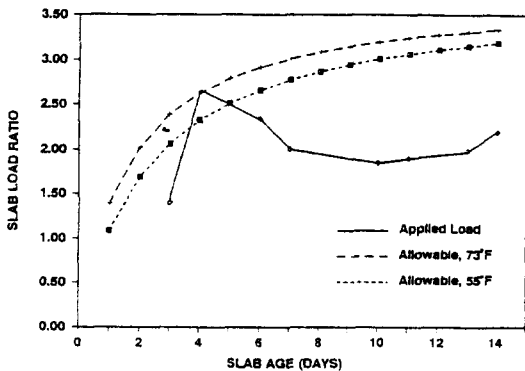


그림 10 허용슬래브하중과 작용슬래브하중, 적재하중 = 70 psf

추가적재하중 20 psf(98kg/cm²) 또는 무거운 사무실 장비에 대하여 설계되었다면, 그림 10에서 보는 것처럼, 73°F의 온도조건과 주당 2개층의 속도에서는 슬래브의 유효하중능력이 시공하중을 전달하기에 적절할 것이다. 또한 주당 1개층의 속도로 시공하면 55°F의 온도 조건에서도 안전할 것이다.

그러나 사용하중능력의 증가는 슬래브의 전단능력을 증가시킨 것을 꼭 의미하지는 않는다. 설계자가 전단보강근을 배근하지 않으면 슬래브-기둥 접합부에의 뚫림전단능력은 콘크리트에 의하여 제공된다. 전단보강근을 배근하지 않는다고 가정하면 그림 9에서처럼 슬래브의 뚫림전단능력은 여전히 임계시공상태에 있는 것이다. 그러므로 슬래브의 뚫림전단능력의 부족 때문에 시공작업을 안전하게 진행할 수 없다. 이상과 같이 시공도중에 슬래브의 휨과 뚫림전단능력을 시험하는 것이 중요하다.

이 예제에서 기술한 건물이 시공가능하도록 하기 위하여서는 다른 시공절차를 고려하여야 한다. 기준 콘크리트 강도와 시공속도와 함께 지주 시스템 형태와 지주/재지주 수준 수의 최적조합은 초기 콘크리트 슬래브에 과다하중을 가하지 않고 시공하중을 분배시키도록 고려하여야 한다.

6. 권 고

이 연구에서 기술한 파괴의 일반적인 이유는 특히 추운 기후에서의 불충분한 강도발현 또한 거푸집의 조기제거이다. 실제 현장콘크리트의 강도를 확인하고, 콘크리트의 추가타설이나 거푸집을 제거하기 전의 초기 시공단계에서 시공하중이 매우 중요하다.

뚫림전단이나 뺨힘부착강도가 파괴의 중요한 형태이므로 현장콘크리트의 압축강도 뿐만 아니라 인장강도도 중요하다. 거푸집을 제거하기 전에 상세한 콘크리트 시험계획이 준비되고 실행되어야 한다.

평판 슬래브의 경우 뚫림전단강도는 매우 중요하다. 적절한 강도와 처짐제어를 위하여 평판 슬래브의 최소두께를 검토하여야 한다.

연쇄붕괴를 방지하기 위하여 기둥 주변에 상하단의 철근을 연속적으로 배치하여야 한다.

전문가에 의한 거푸집의 설계를 포함하여 현장에서 적절한 관리를 하여야 한다. 이것은 거푸집 제거를 위한 최소 허용콘크리트강도, 최대 시공하중에 대한 자료를 포함하여 상세한 지주와 재지주 계획, 절차, 일정표를 작성하여야 한다. 관리되지 않는 거푸집의 조기제거는 심각한 결과를 일으킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. Feld, Jacob, "Lessons from Failure of Concrete Structures," ACI Monograph No. 1, American Concrete Institute, Detroit, 1964, 179 pp.
2. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-88)," American Concrete Institute, Detroit, 1988, 33 pp.
3. Lew, H. S., "Construction Load Effect in Concrete Building Construction," Concrete International : Design and Construction, V.7, No. 4, April 1985, pp. 20-23.
4. Hurd, M. K., with ACI Committee 347, Formwork for Concrete, SP-4, Fifth Edition, American Concrete Institute, Detroit, 1989, 475 pp.
5. Grund, P., and Kabaila, A., "Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings," Proceedings, ACI Journal, V.60, No. 12, Dec. 1963, pp. 1729-1738.
6. Stivaros, P. C., and Halvorsen, G. T., "Equivalent Frame Analysis of Concrete Buildings during Construction," Concrete International, V.13, No. 8, Aug. 1991, pp. 57-62.
7. Stivaros, P. C., and Halvorsen, G. T., "Construction Load Analysis of Slabs and Shores Using Microcomputers," Concrete International, V.14, No. 8, Aug. 1992, pp. 27-32.
8. Gardner, N. J., "Shoring, Reshoring and Safety", Concrete International : Design and Construction, V.7, No. 4, Apr. 1985, pp. 28-34.
9. Liu, Hila, Chen, Wai-Fah., and Bowman, Mark D., "Construction Load Analysis for Concrete Structures," Journal of Structural Engineering, ASCE, V.111, No. 5, May 1985, pp. 1019-1036.
10. Stivaros, P. C., and Halvorsen, G. T., "Shoring /Reshoring Operations for Multistory Buildings," ACI Structural Journal, V.87, No. 5, Sep. -Oct. 1990, pp. 589-596.
11. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete, (ACI 318-89)," American Concrete Institute, Detroit, 1989, 353 pp.
12. Carino, N. J., and Lew, H. S., "Re-Examination of the Relation Between Splitting Tensile and Compressive Strength of Normal Weight Concrete," Proceedings, ACI Journal, V.79, No. 3, May-June 1982, pp. 214-219.
13. Gardner, N. J., "Relationship of the Punching Shear Capacity of Reinforced Concrete Slabs with Concrete Strength," ACI Structural Journal, V.87, No. 1, Jan. -Feb. 1990, pp. 66-79.
14. "American National Standard for Construction and Demolition Operations - Concrete and Masonry Work-Safety Requirements," (ANSI A10.9 1983), American National Standards Institute, New York, 1983, 22 pp.
15. Kaminetzky, Dov, "Design and Constuction Failures: Lessons from Forensic Investigations," McGraw-Hill, New York, 1991. 