

외부 온도변화를 고려한 RC 건축구조물의 시공단계해석

Construction Sequential Analysis on RC Building Structure considering Temperature Changes

강수민*

오재근*

김옥종*

이도범**

Kang, Su Min Oh, Jae Keun Kim, Ook Jong Lee, Do Bum

ABSTRACT

In rapid cycle construction, RC structure which is not cured fully can be loaded with construction load and this construction load can influence on the safety of construction and cracks on slabs. Therefore, to reduce the term of construction, the safety of construction and prevention of cracks should be assured against construction load. In the previous study, temperature load can significantly influence on the behavior of structure under construction. However, existing construction sequential analysis or design code do not consider temperature load reasonably.

In the present study, through construction sequential analysis method using FE analysis, the behavior of structure under construction was analyzed according to temperature changes. According to the results of analysis, as the temperature falls, shoring load drops and the temperature rises, shoring load rises. These variations of shoring load can affect the safety of construction. Moment of slab goes up by fall in temperature. This increase of moment can cause cracks on the slab. Therefore to assure the safety on construction and prevent cracks on slabs, temperature load has to be considered reasonably in construction sequential analysis.

요약

골조공기단축 시 양생이 충분하지 못한 RC 구조물에 시공하중이 가해질 수 있고 이러한 시공하중은 시공 중 구조물의 안전성과 사용성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 골조공사의 공기를 단축하기 위해서는 시공하중에 대한 구조물의 안전성 및 사용성에 대한 검토가 선행되어야 한다. 최근 연구에 따르면 기준에서 정의된 시공하중 뿐만 아니라 온도하중도 시공 중인 구조물의 거동에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났지만 기존의 시공단계해석에서는 이러한 온도하중을 합리적으로 고려하지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 온도하중을 고려한 시공단계해석을 수행하여 동바리 하중 변화와 슬래브 하중 변화를 분석하여 온도하중에 따른 시공 중 구조물의 거동을 분석하였다. 외부 온도변화를 고려한 시공단계해석을 수행한 결과, 주변온도가 하강할 경우 동바리 하중은 감소하고 상승할 경우는 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 동바리 하중 변화는 구조물의 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서 시공계획 시 온도변화에 따른 동바리 하중 변화를 합리적으로 고려해야 한다. 또한 슬래브 하중 변화에서 온도 하강에 의해 슬래브의 모멘트가 커지는 경향을 나타냈다. 공기단축 시 온도하중에 의해 증가된 모멘트는 균열모멘트를 초과할 수 있으므로 가설계획 시 온도하중을 추가적으로 고려해야 한다고 판단된다. 외부 온도변화를 고려하여 구조물의 거동을 분석한 본 연구 자료는 향후 RC 구조물의 공기단축 시, 시공 중 안전성과 건축물의 사용성 확보를 위한 가설계획에서 유용한 자료로 사용될 것으로 판단된다.

* 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 연구원

** 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 연구팀장

1. 서 론

최근 고층건축물의 증가와 선시공·후분양제의 시행 등으로 초고층 건축물 뿐만 아니라 일반 공동주택 건축에서도 공기단축에 대한 필요성이 증대되고 있다. 그런데 골조공기단축으로 인하여 양생이 충분하지 못한 RC 구조물에 시공하중이 가해질 수 있고 이러한 시공하중¹⁾은 시공 중인 구조물의 안전성과 사용성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 골조공기를 단축하기 위해서는 시공하중에 대한 구조물의 안전성 및 사용성에 대한 검토가 선행되어야 한다³⁾. 이를 위해서는 시공하중의 크기와 종류를 측정하고 시공하중에 따른 구조물의 거동을 잘 예측할 수 있어야 한다. 이에 따라 기존연구²⁾에서는 RC 공동주택을 대상으로 현장계측을 수행하여 시공단계의 변화에 따른 시공하중의 크기를 측정하고 거동을 분석하였으며 시공하중(콘크리트 자중, 작업하중, 거푸집 하중)의 변화를 고려한 시공단계해석법을 제안하였다. 기존연구²⁾의 결과에 따르면 기준에서 제시하는 시공하중 뿐만 아니라 온도하중(슬래브 자중의 약 43%)도 시공 중 구조물의 안전성 및 사용성에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 온도하중은 기존의 시공단계해석이나 건축구조설계기준에서 합리적으로 고려하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 온도하중을 고려한 시공단계해석을 통하여 온도변화에 따른 동바리 하중 변화와 슬래브 하중 변화를 분석하여 온도하중이 시공 중인 구조물에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 기존연구²⁾ 분석

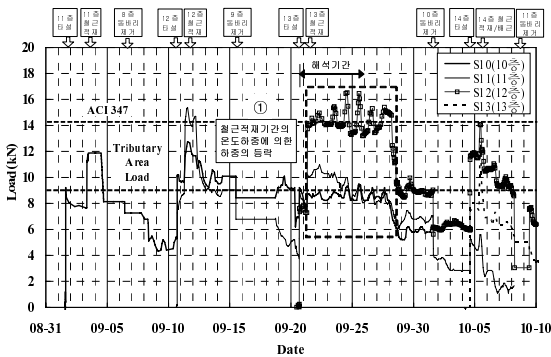


그림 1 계측된 동바리 하중 변화²⁾

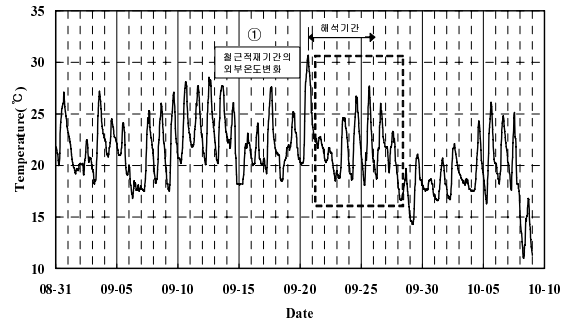


그림 2 온도변화(서울지방²⁾)

그림 1은 앞서 소개한 기존연구²⁾에서 공동주택의 스패 중앙에 설치한 동바리의 하중변화를 나타낸 것이다. ①구간은 콘크리트 타설 이후 상부에 벽철근을 적재하는 단계에서의 동바리 하중변화이다. 이 구간에서 규칙적으로 온도하중의 등락(콘크리트 자중의 최대 43%)이 계측되었다. 외부온도가 상승하게 되면 철근적재하중 및 온도하중에 의하여 시공하중이 설계하중(ACI 347)을 초과하였다. 그림 3은 최상부층(13층) 슬래브 처짐값을 나타내고 있다. L12(Load)는 동바리 하중과 축강성으로 계산한 값이고, G12(Strain)은 동바리 변형률을 통하여 처짐을 산정한 값이다. 그리고 LT-12는 LVDT에서 계측된 슬래브의 처짐을 나타내고 있다. 그림 2와 그림 3에서 콘크리트 타설 이후 외부온도가 감소하게 되는데 이에 따라 처짐이 증가하는 것으로 나타났다. 외부온도가 낮아지게 되면 동바리가 부담하는 압축하중은 줄어들고 처짐(압축변형)은 증가하게 되어 슬래브가 부담하는 하중이 증가하게 된다. 이상의 결과를 종합하면, 외부온도의 상승에 의해 동바리에 추가적인 하중이 발생하여 현장상황에 따라 설계하중을 초과할 수 있고 외부온도가 하강하게 되면 슬래브가 부담하는 하중이 증가하게 되어 슬래브에 균열과 같은 손상이 가해질 수 있으므로 안전한 가설계획과 구조물의 손상을 방지하기 위해서는 이러한 온도변화에 따른 동바리의 하중 변화와 슬래브가 부담하는 하중의 변화를 고려해야 한다.

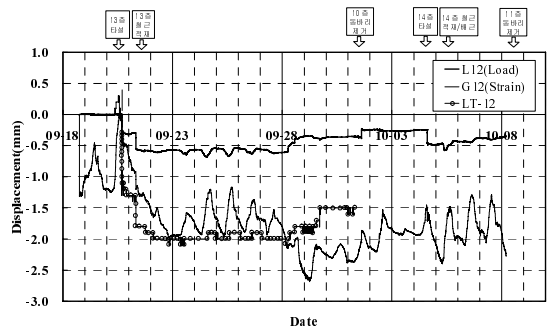
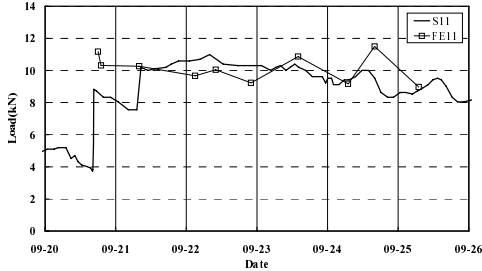


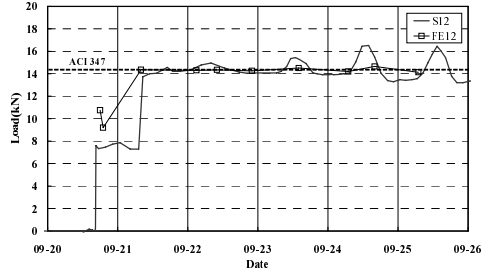
그림 3 최상부층(13층) 슬래브 처짐(12층에서 측정²⁾)

3. 온도변화를 고려한 시공단계해석

본 연구에서는 기존연구²⁾에서 제안한 유한요소해석을 통한 시공단계해석에서 추가적으로 온도하중을 고려하여 해석을 수행하였다. 기존연구에서 현장계측을 수행한 공동주택을 대상으로 온도변화를 고려한 유한요소해석을 수행하여 계측결과를 바탕으로 해석의 적용성을 평가하였다. 온도하중은 점점 하중으로 환산하여 동바리의 상하부에 재하하였다. 해석기간은 주로 온도하중만이 계측되어 온도하중의 영향이 잘 나타날 것으로 예상되는 그림 1의 해석기간으로 선정하였다.



(a) 11층 동바리



(b) 12층 동바리

그림 4 계측된 동바리 하중값과 해석값의 비교

(1) 동바리 하중변화 분석

그림 4는 현장계측에 의해 계측된 동바리 하중값(S11, S12)과 해석값(FE11, FE12)을 비교한 결과를 나타낸 것이고 그림 6은 해석결과 중 9월24일 새벽의 각 층 슬래브별 처짐 분포를 나타내고 있다. 그림 4에서 전체적으로 주변온도가 하강할 경우 동바리 하중은 감소하고 상승할 경우는 동바리 하중은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 온도 상승 시에는 동바리 하중이 설계하중(ACI 347)을 초과하는 경우가 발생할 수 있으므로 가설계획 시 이를 고려하여야 하며 공기단축의 경우 슬래브의 하중 재하능력이 줄어들기 때문에 이러한 경향은 더욱 커질 것으로 판단된다. 또한 해석값에서 11층의 동바리 하중 변화보다 12층의 동바리 하중 변화가 더 작은 것으로 나타났다. 이는 동바리 하중이 동바리의 상하를 구속하는 슬래브의 강성에 의해 좌우되는 값이므로 11층 동바리를 구속하는 슬래브보다 12층을 구속하는 슬래브의 강도가 낮기 때문이라고 판단된다. 그러나 계측결과에서는 12층의 동바리 하중 변화가 11층의 동바리 하중 변화보다 더 큰 것으로 나타났다. 그림 5에서 각 층 동바리 하중을 합산한 값에 있어서 계측값과 해석값의 경향이 거의 일치하는 것으로 나타났으므로 온도하중을 고려한 본 해석법은 동바리 하중을 어느 정도 예측하는 것으로 판단되지만 상하층의 하중 분배에 있어서 문제가 있다고 판단되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

(2) 슬래브 하중 변화 분석

전체 기간에 따른 슬래브 모멘트 분포 변화를 분석한 결과, 그림 6과 같이 동바리를 지지하는 최하부층(10층)에서 가장 큰 시공하중을 부담하는 것으로 나타났다. 그림 7은 그림 6의 12층 슬래브의 온도변화에 따른 모멘트 분포 변화를 나타내고 있고(ⓐ:부모멘트구간, ⓒ:정모멘트구간) 그림 8은 온도변화에 따른 슬래브 최대모멘트(M_u)와 균열모멘트(M_{cr})의 변화를 나타내고 있다. 그림 7에서 온도하중에 따라 최대모멘트가 나타나는 지점은 ⓐ지점으로 변화가 없었으며 각각의 정·부모멘트 영역의 넓이도 크게 차이를 보이지 않았지만 부모멘트와 정모멘트의 크기가 더 커지는 경향을 나타냈다. 그림 8(b)의 9월24일~25일에 약 9°C의 온도저하에 의해 약 33%의 모멘트 증가가 나타났다. 따라서 온도변화에 의한 슬래브 모멘트의 변화가 큰 것으로 나타났다. 또한 상부층으로 갈수록 대체적으로 온도변화에 의한 모멘트 변화가 작아지는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하면, 슬래브는 온도가 하강하게 되면 슬래브 하중이 증가하게 되므로 공기단축을 위한 가설계획 시 이를 고려해야 한다고 판단된다. 그림 8에서 대상건물의 경우 전체적으로 하중에 의한 모멘트(M_u)보다 균열모멘트(M_{cr})가

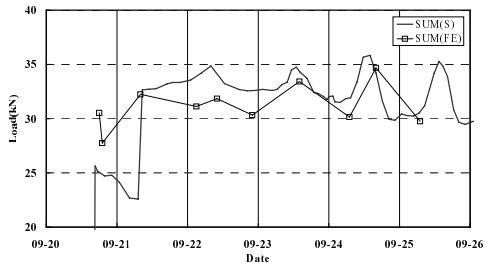


그림 5 동바리 하중 계측값과 해석값의 총별 합계

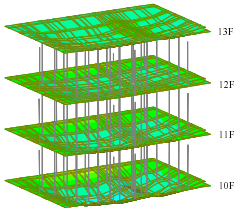
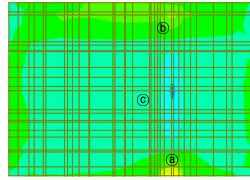
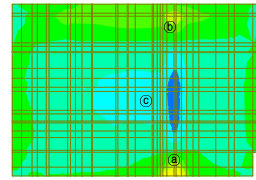


그림 6 슬래브 처짐 분포

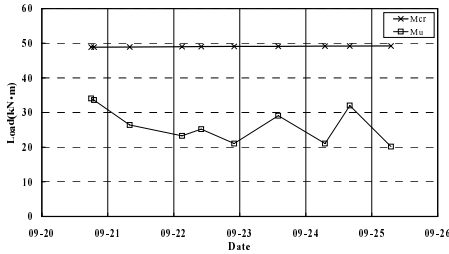


(a) 온도상승

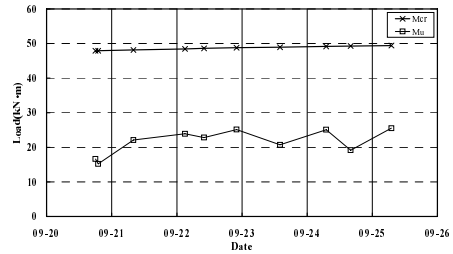


(b) 온도하강

그림 7 온도변화에 따른 슬래브 모멘트 분포 변화



(a) 10층 슬래브



(b) 12층 슬래브

그림 8 온도변화에 따른 슬래브 최대모멘트(M_{eq})와 균열모멘트(M_{cr})의 비교

커서 안전성에 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 층당공기가 짧아질 경우 강도발현이 덜 된 상태에서 시공하중이 재하되는데 이 때 강도발현이 덜된 슬래브는 균열모멘트가 작으므로 하중에 의한 모멘트가 균열모멘트를 초과할 수도 있을 것으로 예상되고 슬래브 콘크리트 강도가 작을 경우에도 균열 모멘트가 작으므로 균열이 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 공기단축 시의 가설계획에 있어서 타설단계의 시공하중 뿐만 아니라 온도하중이 추가적으로 고려되어야 한다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 시공 중 구조물의 거동에 큰 영향을 줄 수 있는 온도하중을 고려한 시공단계해석을 수행하여 온도하중에 따른 구조물의 거동을 분석하였으며 이에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 동바리 하중 변화에서 주변온도가 하강할 경우 동바리 하중은 감소하고 상승할 경우는 증가하는 경향을 나타냈다. 온도 상승 시 동바리 하중이 설계하중을 초과하는 경우가 발생할 수 있으므로 가설 계획 시 이를 고려하여야 한다. 동바리 하중값에 있어서 해석값과 계측값의 경향이 다르지만 각 층의 하중을 합산한 결과에서는 경향이 일치하는 것으로 나타났으므로 해석의 경우 각 층의 하중분배에 문제가 있다고 판단되며 추가적인 연구가 필요하다.

2) 슬래브 하중 변화를 분석한 결과, 동바리를 지지하는 최하부층에서 가장 큰 시공하중을 부담하는 것으로 나타났고 온도의 하강에 의해 정·부모멘트 영역의 넓이는 크게 차이를 보이지 않고 각 모멘트의 크기가 더 커지는 경향을 나타냈다. 공기단축 시 온도하중에 의한 모멘트는 균열모멘트를 초과할 수 있으므로 가설계획 시 온도하중을 추가적으로 고려해야 한다고 판단된다.

감사의 글 : 이 연구는 2008년도 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 시행한 "공기 단축형 복합구조 건설기술"(05 R&D 건설핵심D02-1)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. American Concrete Institute, "Guide to Formwork for Concrete", ACI 347-04, Detroit, Mich.
2. 대림산업 기술연구소, 안전성 및 사용성 확보를 위한 시공단계해석, 2007
3. Grundy, Paul, and Kabaila, A., "Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings", ACI Journal, Proceedings V.60, No. 12, Dec. 1963, pp.1729~1738