현장계측을 통한 거푸집-동바리 시스템 해체절차에 따른 플랫슬래브의 수직거동 분석

Analysis of Vertical Behavior of Flat Slab by Disassembling Procedures of Form-Shore System through Field Measurement

김선웅* · 나동수**

Kim, Seonwoong · Na, Dong Soo

Abstract

This study investigated the structural stability of the flat slab through the field measurement for the vertical deflection of the flat slab in accordance with the disassembling procedures of the form-shore system under construction. From the field measurement results, it was found that the biggest affected factors on the vertical deflection of the flat slab in the disassembling procedures of the form-shore system under construction are the concrete placement in the upper floors and disassembling of the shore in the lower floors of the form-shore system. Moreover, if the flat slab stands alone by disassembling of the shore, the vertical displacement of the flat slab can be recovered the total vertical deflection of the flat slab of about 15 percent.

Key words : Flat slab, Form-shore system, Vertical deflection, Field measurement

요 지

본 연구에서는 플랫슬래브의 수직처짐에 대한 현장계측을 통해 시공중 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 플랫슬래브의 구조적 안전성을 살펴보았다. 현장계측결과로부터 시공중 거푸집-동바리 시스템의 해체과정에서 플랫슬래브의 수직처짐에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 상부층의 콘크리트 타설과 하부층의 동바리 해체임을 확인하였다. 아울러 동바리가 해체되어 슬래브가 자립상태가 되면 수직처짐은 약 15% 회복됨을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 플랫슬래브, 거푸집-동바리 시스템, 수직처짐, 현장계측

1. 서 론

플랫슬래브 시스템은 층고감소, 공기단축, 그리고 시공성향상 등의 장점으로 인해 국내에서 점차 확대 적용되고 있다. 하지만 플랫슬래브 시스템은 슬래브의 수직처짐을 억제해줄 수 있는 구조부재가 없기 때문에 장스팬에서는 슬래브의 낮은 강성으로 인해 상당한 처짐이 발생하며, 이로 인해 슬래브의 중앙부의 하단, 코어 및 슬래브가 만나는 단부의 상부, 그리고 지판과 슬래브가 만나는 단부의 상부에서의 균열을 초래할 것이라는 것을 쉽게 예상할 수 있다. 특히 시공중에는 콘크리트의 낮은 조기재령강도 및 강성으로 인해 슬래브의 처짐 및 균열이 심화될 수 있다(Kang *et al.* 2003; Gardner *et al.* 1987; Hwang *et al.* 2010).

슬래브의 수직처짐에 영향을 미치는 주요 변수로는 동바리

에 의해 지지되는 층수, 층당 시공기간, 동바리의 해체절차 등을 포함하는 거푸집-동바리 해체절차 및 콘크리트의 재료 특성이다. 엔지니어링 측면에서 콘크리트의 재료특성은 통제될 수 있는 부분이므로, 결국 플랫슬래브의 수직처짐을 결정짓는 변수는 거푸집-동바리의 해체절차임을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 현장계측을 통해 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 플랫슬래브의 전반적인 수직거동을 살펴보고, 거푸집-동바리 시스템의 해체절차와 플랫슬래브의 수직처짐과의 상관성을 알아보려 한다.

2. 거푸집-동바리 시스템의 소개

본 연구의 대상건물에 사용된 거푸집-동바리 시스템은 알루미늄 판넬과 드롭헤드(drophead) 시스템에 의해 조립, 설치,

*교신저자. 정회원. (주)대우건설 기술연구원 선임연구원(Tel: +82-31-250-1152, Fax: +82-31-250-1132, E-mail: seonwoong.kim@daewooenc.com)
Corresponding Author: Member, Senior Researcher, DAEWOO E&C.

** (주)대우건설 부장
General Manager, DAEWOO E&C

Fig. 1. Main Components of Form-Shore System

해체가 신속하고 간편한 거푸집-동바리 시스템이다. 드롭헤드를 활용하면, 슬래브의 콘크리트 타설 후 동바리 해체없이 알루미늄 판넬만 해체가 가능하기 때문에 동바리를 다시 설치해야하는 불편함이 없다. 적은 인원으로도 운용이 가능하여 인건비 절감이 가능한 시스템이다.

본 연구의 거푸집-동바리 시스템은 드롭헤드, 메인빔(Main beam), 판넬, 그리고 동바리 등의 4가지의 주요부재로 구성된다(Fig. 1 참조).

본 연구의 거푸집-동바리 시스템의 주요설치절차는 다음과 같이 3단계로 구성된다.

- 1) 설치 절차 1: 드롭헤드, 메인빔, 동바리로 구성된 단위골조를 구성
- 2) 설치 절차 2: 다수의 단위골조로 이루어진 동바리 골조를 구성
- 3) 설치 절차 3: 동바리 골조 상부에 판넬을 설치

본 연구의 거푸집-동바리 시스템의 주요해체절차는 다음과 같이 4단계로 구성된다. Fig. 2(a)~(d)는 이에 따른 전경을 순서대로 보여주고 있다.

- 1) 해체 절차 1: 벽체/기둥의 거푸집 해체
- 2) 해체 절차 2: 슬래브의 거푸집 해체
- 3) 해체 절차 3: 지판 거푸집-동바리 해체
- 4) 해체 절차 4: 슬래브 동바리 해체

Fig. 2. Disassembling Procedures of Form-Shore System

Fig. 3. Disassembling Procedures and Duration of Form-Shore System

Fig. 3은 거푸집-동바리 시스템의 상세한 해체절차 및 양생 기간을 도식화한 것이며, Table 1은 Fig. 3을 정리한 것이다. 해체절차를 살펴보면, 본 연구의 대상건물의 구조골조는 7일 간격으로 한개층씩 시공되는 시스템이며, 4개층으로 구성된 거푸집-동바리 시스템의 설치부터 해체까지는 총 24일이 소요된다. 즉, 슬래브를 지지하는 한개층의 동바리 시스템은 최소한 24일이 존치된다는 것을 의미한다. KBC 2009(AIK 2009)를 포함한 대표적인 구조설계기준들은 재령 28일의 콘크리트 강도를 준용하고 있기 때문에, 최소 24일 동안 동바

Table 1. Disassembling Procedures and Duration of Form-Shore System

층	벽체/상부 슬래브 타설	벽체/기둥 거푸집 해체 (타설일+1)	슬래브 거푸집 해체 (타설일+2)	지판 거푸집 해체 (타설일+15)	슬래브 동바리 해체 (타설일+24)
14	타설일 (절차 1)	타설일+1 (절차 3)	타설일+2 (절차 4)	타설일+15 (절차 8)	타설일+24 (절차 10)
13	타설일-7	타설일-6	타설일-5	타설일+8 (절차 6)	타설일+17 (절차 9)
12	타설일-14	타설일-13	타설일-12	타설일+1 (절차 2)	타설일+10 (절차 7)
11	타설일-21	타설일-20	타설일-19	타설일-6	타설일+3 (절차 5)

리 시스템이 존치된다는 것은 대상건물의 플랫슬래브는 자립할 수 있는 충분한 강도 및 강성을 획득한 이후에 동바리를 해체하고 있음을 의미한다.

3. 대상건물의 개요 및 현장계측 계획

3.1 대상건물의 개요

본 연구의 대상건물은 지하 2층, 지상 31층 규모의 사무용 건물이다. 대상건물의 횡력저항시스템은 철근콘크리트조 특수전단벽이고, 중력저항시스템은 플랫슬래브 시스템이다(Table 2 참조). 대상건물은 KBC 2009(AIK 2009)와 콘크리트 구조설계기준 및 해설(KCI 2007)에 근거하여 구조설계되었다.

Table 3 및 4는 본 건물에 사용된 주요 구조재료 강도 및 구조부재의 크기를 각각 정리한 것이다. 본 연구의 계측대상 슬래브의 콘크리트 강도는 지하층부터 지상 14층까지는 30 MPa을, 지상 15층부터 지붕층까지는 24 MPa로 설계되었다. 아울러 전층 슬래브의 두께는 250 mm로 동일하다.

3.2 현장계측 계획

본 절에서는 시공중 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 플랫슬래브의 수직거동 분석을 위한 현장계측 계획을 살펴보고자 한다.

Fig. 4는 계측대상 바닥 플랫슬래브(13층, 14층, 15층)에 설치된 수직처짐 계측기(linear variable differential transducer; 이하 LVDT)의 설치도를 보여주고 있다. 대상건물의 골조는 A구간(A-zone)과 B구간(B-zone)으로 나누어 시공되는데, B구간을 1차 시공하고, A구간을 2차 시공한다. 또한 건축평면상으로는 남측(South face)과 북측(North face)으로 나누어 명

명한다. 구조부재의 중심선을 기준으로 플랫슬래브의 길이는 남측이 11.1 m, 북측이 10.8 m로서 남측이 더 길다. 아울러 B구간의 플랫슬래브는 2.5베이(bay)로서, 3.5베이로 구성된 A구간의 플랫슬래브보다 슬래브 상호간에 갖는 견인성능(pulling capacity)이 떨어지기 때문에 처짐에 더 불리하다. 따라서 본 연구에서는 가장 불리한 조건인 남측의 B구간에 위치한 플랫슬래브를 계측대상으로 선정하였다.

LVDT의 설치위치는 슬래브의 변형이 슬래브의 중앙부를 기준으로 대칭으로 발생할 것이라 가정하고, 기둥 및 지판 등을 종합적으로 고려하여 계측위치를 결정하였다.

4단 동바리 시스템의 최상단층 슬래브에 콘크리트가 타설되었을 때, 최하단층의 동바리는 약 2~3일만 존치되기 때문에 계측결과를 통해 최하단층의 동바리가 상부슬래브의 거동에 미치는 영향을 판단하기 어렵다(Fig. 3 참조). 아울러 최하단층을 제외한 3개층의 계측결과로서 최하단층에 설치된 동바리의 기여도를 유추할 수 있을 것으로 예상하고 4단 동바리 시스템 중에서 최하단층(12층)의 동바리를 제외한 3개층(13층, 14층, 15층) 슬래브의 수직처짐을 계측하였다. 플랫슬래브의 수직처짐 계측위치는 각 층별 3개소, 총 9개소에서 수직처짐을 측정하였다(Fig. 5 참조).

Fig. 4. Structural Plan of Target Building and Installation of Measuring Instruments

Fig. 5. Installation Plan of LVDT of Target Building

Table 2. Introduction of Target Building

구분	내용
건물 규모	지하2층, 지상31층
용도	업무 및 방송통신시설
구조시스템	철근콘크리트 특수전단벽+플랫슬래브

Table 3. Strength of Main Structural Materials

구조재료	내용		
콘크리트	부재	층	강도
	슬래브	지하층~지상14층	30 MPa
		지상15층~지붕층	24 MPa
	벽체, 기둥	지하층~지상13층	40 MPa
		지상14층~지붕층	30 MPa
철근	HD16이하: $f_y = 400$ MPa (SD400) SHD19 이상: $f_y = 500$ MPa (SD500)		

Table 4. Thickness and Size of Main Structural Members

부재	두께(mm)	크기(mm)	비고
슬래브	250	-	-
벽체	600	-	-
기둥	-	1,000×1,000	-
지판	390	2,800×2,500	전단보강근 배치

Fig. 6. Installation Concept of LVDT of Flat Slab

등과 기둥사이의 중간위치에서 전단벽을 잇는 선상(조건1)에서 더 크게 발생할 것이다. 다시 말해서, 전단벽과 기둥을 잇는 선상에는 지판이 위치하고 있고 외주부에 위치한 기둥이 하나의 경계조건으로서의 지점역할을 하기 때문에 기둥과 기둥사이의 슬래브만이 존재하여 자유단으로 작용하는 경우(조건2)보다 휨강성이 크다. 따라서 두 조건중에서 불리한 조건인 기둥과 기둥사이의 중간위치에서 전단벽을 잇는 선상의 수직처짐을 계측할 수 있도록 T자형 와이어를 설치하고, LVDT를 이용하여 슬래브와 와이어간의 간격을 계측하도록 하였다. Fig. 6에서 보여주듯이, 수직부재(벽체, 기둥)는 변형이 발생하지 않는 강체로서 가정하고, 첫 번째 계측용 와이어(transverse fixed wire; 이하 Wire #1)를 기둥과 기둥사이에 설치하고, 전단벽과 Wire #1을 연결하는 와이어(horizontal fixed wire)를 T자형으로 연결하여 플랫슬래브의 수직처짐 측정의 기준점으로 삼았다. 슬래브와 와이어간의 간격이 바로 슬래브의 수직처짐을 나타낸다(Fig. 4 및 Fig. 6 참조). 아울

Fig. 7. Installation View of LVDT of Flat Slab

리 와이어간의 긴장력은 0.245 kN 상당의 강재추를 사용하여 유지하도록 하였다.

Fig. 7은 대상건물의 계측대상 플랫슬래브에 설치된 LVDT의 설치전경을 보여주고 있다.

계측기로부터 유선으로 연결된 데이터로거를 통해 24시간 상시계측자료를 획득하고, 계측자료가 축적되는 데이터베이스용 서버까지는 코드분할 다중접속(code division multiple access)기술을 활용하여 계측자료를 전송하였다.

4. 계측결과 및 고찰

4.1 대상건물의 B구간 시공일지

Table 5는 계측기간 동안에 본 연구의 대상건물의 계측구간(B구간)에서의 콘크리트 타설 일정, 거푸집-동바리 시스템

Table 5. Construction Work of Target Zone (B-Zone) during Measurement Period

층	타 설	거푸집 및 동바리 시스템 해체	슬래브 상재하중	비 고
12	· 바닥 슬래브 타설(4/24)	· 벽체 거푸집 해체(5/3) · 상부 슬래브 거푸집 해체(5/5) · 지판 거푸집 해체(5/21) · 상부 슬래브 동바리 해체(5/27)	-	-
13	· 바닥 슬래브 타설(5/2)	· 벽체 거푸집 해체(5/10) · 상부 슬래브 거푸집 해체(5/12) · 지판 거푸집 해체(5/26) · 상부 슬래브 동바리 해체(6/6)	-	· 계측시작(5/16) · 계측종료(7/5)
14	· 바닥 슬래브 타설(5/9)	· 벽체 거푸집 해체(5/18) · 상부 슬래브 거푸집 해체(5/20) · 지판 거푸집 해체(6/7) · 상부 슬래브 동바리 해체(6/17)	-	· 계측시작(5/16) · 계측종료(7/5)
15	· 바닥 슬래브 타설(5/17)	· 벽체 거푸집 해체(5/26) · 상부 슬래브 거푸집 해체(5/28) · 지판 거푸집 해체(6/23) · 상부 슬래브 동바리 해체(6/25)	· 슬래브 거푸집 상재(5/22~23) → 11층 해체 동바리 이동	· 계측시작(5/21) · 계측종료(7/5)
16	· 바닥 슬래브 타설(5/25)	· 벽체 거푸집 해체(6/6) · 상부 슬래브 거푸집 해체(6/8) · 지판 거푸집 해체(6/28) · 상부 슬래브 동바리 해체(7/3)	· 슬래브 철근 상재(5/23~24) · A-zone 슬래브 철근 상재(5/29) · 기둥/벽체 철근 상재(5/31)	-
17	· 바닥 슬래브 타설(6/5)	· 벽체 거푸집 해체(6/16) · 상부 슬래브 거푸집 해체(6/18)	· 슬래브 철근 상재(6/3) · 기둥/벽체 철근 상재(6/6)	-
18	· 바닥 슬래브 타설(6/15)	-	· 슬래브 철근 상재(6/13) · 기둥/벽체 철근 상재(6/18~19)	-

Fig. 8. Existing State of Shore in accordance with Step-by-Step Installation and Disassembling Procedures of Form-Shore System during Measurement Period

의 해체 일정, 그리고 시공중 슬래브의 적재하중이 상재되는 일정에 대한 현장 시공일지를 정리한 것이다.

Fig. 8은 Table 5를 정리하여 계측기간 동안의 동바리의 설치 및 해체절차에 따른 동바리의 존치상태를 도식화한 것이다.

4.2 시공단계에 따른 플랫슬래브의 수직처짐 계측결과

Fig. 9와 10은 계측기간 동안 4개층으로 구성된 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 14층 및 15층 바닥슬래브의 수직거동 및 시공공정을 층별로 각각 보여주고 있다. Fig. 9와 10의 가로축은 계측일(년-월-일)을, 세로축은 슬래브의 수직처짐을 나타낸 것이다. 본 연구의 대상건물은 플랫슬래브에서 상당한 처짐이 발생할 것이라 예상하고, 이에 따른 슬래브의 사용성 문제를 사전에 예방코자 약 45 mm의 시공솟음(camber)을 주어 시공하였다. Fig. 9와 10은 이에 대한 내용을 반영하여 플랫슬래브의 수직처짐에 대한 기준점으로 시공솟음을 고려한 시점을 초기계측시점으로 하여 나타낸 것이다. 아울러 KBC 2009(AIK)에 근거한 본 연구의 플랫슬래브의 한계처짐량도 그림에 함께 표시하였다.

위에서 밝힌 바와 같이, 4단 동바리 시스템(12층~15층 바닥슬래브)의 최상단층 슬래브에 콘크리트가 타설되었을 때, 최하단층의 동바리는 약 2~3일만이 존치되며, 13층 바닥슬래브의 계측결과는 거푸집-동바리 시스템의 해체절차의 일부분을 반영하고 있다. 본 연구의 목적은 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 전반적인 플랫슬래브의 수직거동을 고찰하

는 것이므로 본 절에서는 12층 및 13층 바닥슬래브를 제외한 2개층(14층 및 15층)의 계측결과만을 정리하였다.

Fig. 9는 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 14층 바닥 플랫슬래브의 수직처짐과 슬래브의 거동에 직접적인 영향을 미치는 시공공정을 정리하여 나타낸 것이다. 14층 바닥슬래브의 계측결과는 14층의 콘크리트 타설 직후의 변형 및 4단 동바리 시스템의 구성중 최하단층(10층)의 동바리 제거에 따른 영향을 반영하지는 못하였다[Fig. 8(a) 및 9 참조]. 14층 바닥슬래브의 콘크리트 타설 직후의 변형과 동바리 제거에 따른 변형은 14층 바닥슬래브의 콘크리트가 굳지 않은 상태로 슬래브 거푸집을 탈형하기 전이기 때문에 14층 바닥슬래브에 계측기의 설치가 불가하여 측정할 수 없었기 때문이다. 하지만 14층 바닥슬래브의 계측결과가 14층 바닥슬래브 및 11층 지판 거푸집의 동바리 해체로 인한 영향을 반영하지 못하였지만, 전반적인 계측결과를 살펴보면, 4단 거푸집-동바리 시스템 중에서 최상단층의 슬래브 거푸집과 하단층 지판의 동바리 해체로 인한 슬래브의 수직처짐의 변동에 미치는 영향은 극히 미미함을 확인할 수 있다[Fig. 8(a) 및 9 참조].

거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 동바리의 존치상태는 Fig. 8에서 확인할 수 있으며, 14층 바닥슬래브의 수직거동에 영향을 미치는 시공단계별 동바리의 존치상태는 Fig. 8(a)~(h)이다. 플랫슬래브의 수직처짐은 슬래브의 중앙부(Slab_14F_D1)에서 가장 크고, 기둥과 지판에 의해 지지되고 있는 골조의 외주부(Slab_14F_D2, Slab_14F_D3)로 갈수록 슬래브의 수직처짐은 점점 작아졌다. 슬래브의 수직처짐의 경

Fig. 9. Construction Work and Measured Results of LVDT of 14th Flat Slab in accordance with Disassembling Procedures of Form-Shore System

향성은 계측지점의 간격에 따른 선형적인 관계가 아닌 아치 형태의 처짐양상을 보였다. Fig. 9에서 보여주듯이, 14층 플랫폼슬래브의 수직거동에 영향을 미치는 주요인자는 슬래브의 타설과 동바리 해체임을 알 수 있다. 동바리의 해체에 의한 영향은 타설되는 층에서 멀수록 크다. 즉, 하단층으로 내려갈수록 동바리에 의해 전달되는 하중이 점점 커지기 때문에 하단부에서의 동바리의 해체가 슬래브의 수직거동에 미치는 영향이 커지는 것이다.

슬래브의 콘크리트 타설에 의한 영향은 18층을 최상단층으로 하는 동바리 시스템을 구성할 때를 제외한 3개층의 콘크리트 타설시에 모두 나타났으며, 슬래브의 콘크리트 타설시마다 슬래브의 중앙부(Slab_14F_D1)에서의 수직처짐은 약 3~5 mm씩 증가하였다. 하지만, 18층 바닥슬래브의 콘크리트가 타설될 경우, 동바리 시스템의 최하단층이 되는 14층 바닥슬래브의 수직처짐에는 거의 영향을 미치지 못하였다. 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 14층 바닥슬래브의 중앙부(Slab_14F_D1)에서 계측된 최대수직처짐은 37.02 mm가 발생하였다. 한편, 상부하중을 지지하고 있던 14층의 동바리가 제거되면(6/17), 슬래브는 자중만을 지탱하는 자립상태가 되면서 슬래브의 수직처짐은 상당히 회복되었다. 14층의 동바리가 해체완료 되었을 때, 슬래브의 최종수직처짐은 30.22 mm로서, 약 6.8 mm(최대수직처짐의 약 18.3%)가 회복되었다. 거푸집-동바리 시스템 해체 이후의 슬래브의 수직처짐은 설비공사에 따른 적재하중의 증감에 따라 변동하고 있으나, 큰 변화는 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 15층 바닥 플랫폼슬래브의 수직처짐과 슬래브의 거동에 직접적인 영향을 미치는 시공공정을 정리하여 나타낸 것이다. 14층 계측

결과와 마찬가지로, 15층 바닥슬래브의 계측결과도 역시 15층 바닥슬래브의 콘크리트 타설 직후의 변형 및 최하단층(11층)의 동바리 제거에 따른 영향을 반영하지 못하고 있다. 즉, 15층의 계측결과는 이러한 두 공정을 제외한 모든 공정을 반영하고 있으며, 시공단계에 따른 플랫폼슬래브의 수직처짐을 가장 정확하게 파악할 수 있는 계측결과이다(Fig. 8(b), 8(c) 및 10 참조).

15층 바닥슬래브의 수직거동에 영향을 미치는 시공단계별 동바리 존치상태는 Fig. 8(b)-(j)이다. 14층의 계측결과와 마찬가지로(Fig. 9 참조), 15층 플랫폼슬래브의 수직처짐은 슬래브의 중앙부(Slab_15F_D1)에서 가장 크고, 기둥과 지판에 의해 지지되고 있는 골조의 외주부로 갈수록 슬래브의 수직처짐(Slab_15F_D2, Slab_15F_D3)은 점점 작아졌다. 15층 바닥슬래브의 수직거동에 미치는 주요영향인자도 역시 콘크리트 타설과 동바리 해체임을 알 수 있다. 아울러 동바리 해체에 의한 영향은 전달되는 상부하중이 커지는 하단층으로 내려갈수록 점점 커졌다.

18층 바닥슬래브의 콘크리트 타설시에는 슬래브의 수직처짐에 거의 영향을 미치지 못하였다. 슬래브의 콘크리트 타설시마다 15층 바닥슬래브의 중앙부(Slab_15F_D1)에서의 수직처짐은 약 2~5 mm씩 증가하였다. 14층의 계측결과와는 달리, 동바리 시스템의 최상단층(19층)이 타설될 경우에도 최하단층 바닥슬래브(즉, 15층 바닥슬래브)의 수직처짐에 영향을 미쳤다.

시공단계에 따른 15층 바닥슬래브의 중앙부(Slab_15F_D1)에서 계측된 최대수직처짐은 40.36 mm가 발생하였다. 한편, 14층 계측결과와 마찬가지로, 15층의 동바리가 제거되면(6/30), 15층 바닥슬래브 역시 자중만을 지지하는 자립상태로서

Fig. 10. Construction Work and Measured Results of LVDT of 15th Flat Slab in accordance with Disassembling Procedures of Form-Shore System

15층 바닥슬래브의 수직처짐이 상당히 회복됨을 확인할 수 있다. 15층 동바리가 해체완료 되었을 때, 15층 바닥슬래브의 수직처짐은 36.27 mm로서, 약 4.09 mm(전체변위의 약 10.1%)가 회복되었다. 하지만 이 수치는 동바리(즉, 적재하중)가 15층 바닥슬래브에 그대로 상재되어 있는 상태로 동바리가 이동이 마무리된 후의 슬래브의 최종수직처짐은 34.11 mm로서, 약 6.25 mm(전체변위의 약 15.5%)가 회복되었다. 경우의 수가 적기는 하지만, 동바리가 해체되면 플랫폼슬래브의 수직처짐은 약 15% 이상 회복됨을 알 수 있다. 동바리 해체이후의 슬래브의 수직처짐은 짧은 기간이지만 설비공사에 따른 적재하중의 증감에 따라 변동하고 있으나, 큰 변화는 없음을 확인할 수 있다.

4.3 사용성 및 시공 정밀도 검토

(i) 사용성 측면

플랫폼슬래브의 시공시에는 슬래브의 과도한 처짐으로 인한 구조적 문제가 발생하는 것을 사전에 예방코자 슬래브에 시공 sót을 주어 슬래브의 사용성(처짐) 한계에 대비한다. 위에서 기술한 바와 같이, 본 연구의 대상건물의 플랫폼슬래브도

Fig. 11. Sectional Drawing of Flat Slab of Target Building Considering Camber (Non-scaled)

역시 이에 대비코자 콘크리트 타설 전에 플랫폼슬래브의 중앙부에 약 45 mm의 시공 sót을 주었다(Fig. 11 참조). 아울러 KBC 2009(AIK 2009)에서는 슬래브의 처짐에 대한 사용성 한계기준을 제시하고 있는데, 슬래브의 최대처짐이 ‘ $L/240$ (본 연구의 경우, 46.25 mm)’가 되도록 요구하고 있다(Table 6 참조). 여기서, L 은 슬래브의 경간길이이다.

사용하중(본 연구에서는 고정하중만을 고려)에 대한 14층 및 15층 바닥 플랫폼슬래브의 최대수직처짐은 37.02 mm 및 40.36 mm가 각각 계측되었다. 사용성 기준에 따른 슬래브의 처짐 한계치는 46.25 mm이므로, 본 연구에서 계측한 최대수

Table 6. Limited Maximum Allowable Deflection per KBC 2009

부재의 형태	고려해야 할 처짐	처짐 한계
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를 지지 또는 부착하지 않은 평지붕 구조	활하중에 의한 순간처짐	$L/180$
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를지지 또는 부착하지 않은 바닥구조		$L/360$
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조	전체 처짐 중에서 비구조 요소가 부착된 후에 발생하는 처짐부분 (모든 지속하중에 의한 장기처짐과 추가적인 활하중에 의한 순간처짐의 합)	$L/480$
과도한 처짐에 의해 손상될 우려가 없는 비구조 요소를지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조		$L/240$

Table 7. Measured Maximum Deflection of Flat Slab in Accordance with Construction Stage

층	최대수직 변위	시공솟음을 고려한 최대수직처짐	한계치	여유 처짐량
14	37.02 mm	-7.98 mm	$L/240$	54.23 mm
15	40.36 mm	-4.64 mm	(= 46.25 mm)	50.89 mm

Fig. 12. View to Measure Thickness of Flat Slab of Target Building

직처짐보다 크다. 더욱이 사용성 한계기준치에 슬래브의 시공 솟음까지 고려하게 되면, 14층 및 15층 플랫슬래브의 최대수직처짐은 -7.98 mm 및 -4.64 mm가 된다. 즉, 14층 및 15층 플랫슬래브의 처짐량은 사용성 한계치까지 54.23 mm와 50.89 mm가 각각 남게 되어 충분한 여력을 확보하게 된다. 본 연구에서는 사용하중(고정하중+적재하중)중에서 고정하중만을 고려하였지만, 마감공사 등으로 인해 슬래브의 상부에 슬래브의 자중에 상응하는 적재하중이 재하되어 슬래브의 추가변위가 발생하더라도 사용성 한계까지 남아있는 슬래브의 여유 처짐량이 계측결과를 약 26% 이상 상회하고 있기 때문에 플랫슬래브에는 처짐으로 인한 구조적 문제는 발생하지 않을 것으로 예상된다(Table 7 참조).

(ii) 시공 정밀도 측면

Fig. 11에서 보여주듯이, 플랫슬래브의 중앙부에 시공솟음을 주면, 슬래브는 균일한 두께로 시공될 수 없다. 즉, 슬래브의 중앙부에서의 슬래브의 두께는 구조설계(안)을 만족시키나, 슬래브의 양단부에서의 두께는 구조설계(안)보다 두껍게 타설된다. 따라서 슬래브가 구조설계과정에서 요구되는 슬래브의 최소강도, 즉 설계두께를 만족시키도록 시공되었는지를 확인해야만 한다. Fig. 12는 본 연구의 대상건물의 플랫슬래브 중앙부에서 슬래브의 두께를 실측한 전경을 보여주고 있

다. 슬래브의 두께를 실측한 결과가 정확하게 250 mm를 확보하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 강도측면에서도 슬래브는 충분한 내력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 논문은 현장계측을 통해 시공중 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 플랫슬래브의 수직거동을 분석하고, 플랫슬래브의 구조적 안전성을 살펴보았다. 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시공중 거푸집-동바리 시스템의 해체절차에 따른 플랫슬래브의 수직처짐에 가장 큰 영향을 미치는 주요 시공공정은 상부층의 콘크리트 타설과 하부층의 동바리 해체임을 확인하였다.
- 2) 상부슬래브에 상재되었던 하중을 지지하던 동바리가 해체되어 자립상태가 되면 플랫슬래브의 수직처짐은 평균적으로 최대수직처짐의 약 15%가 회복됨을 확인하였다.
- 3) 현 구조설계기준을 근거하여 플랫슬래브를 설계할 경우에 기준에서 제시하는 슬래브의 처짐과 관련된 사용성기준을 만족시킴을 확인하였다.

References

- Architectural Institute of Korea (AIK) (2009) Korean Building Code and Commentary 2009, Architectural Institute of Korea
- Kang, S.H., Choi, K.K., and Park, H.G. (2003), Minimum Thickness Requirements of Flat Plate Affected by Construction Load, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 15, No. 5, pp. 650-661.
- Korea Concrete Institute (KCI) (2007) Korean Concrete Standards and Commentary 2007, Korea Concrete Institute
- Gardner, N.J. and Fu, H.C. (1987) Effects of High Construction Loads on the Long-Term Deflection of Flat Slabs, *ACI Structural Journal*, Vol. 84, No. 3, pp. 349-360.
- Hwang, H.J., Park, H.G., Hong, G.H., Im, J.H., and Kim, J.Y. (2010) Effects of Shore Stiffness and Concrete Cracking on Slab Construction Load I: Theory, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 22, No. 1, pp. 41-50.
- Oh, J.K., Kang, S.M., and Kim, O.J. (2008) Field Instrumentation of Load of R/C Apartment under Construction according to Construction Stage, *Proceeding of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 1, pp. 117-120.

© Received November 28, 2013

© Revised November 29, 2013

© Accepted December 3, 2013