



슬래브의 시공하중에 대한 동바리 강성 및 슬래브 균열의 영향 II: 계측 및 비교

황현종¹⁾ · 홍건호²⁾ · 박홍근¹⁾ · 김용남³⁾ · 김재요^{4)*}

¹⁾서울대학교 건축학과 ²⁾호서대학교 건축공학과 ³⁾삼성물산 건설부문 주택ENG팀 ⁴⁾광운대학교 건축공학과

Effects of Shore Stiffness and Concrete Cracking on Slab Construction Load II: Measurements and Comparisons

Hyeon-Jong Hwang,¹⁾ Geon-Ho Hong,²⁾ Hong-Gun Park,¹⁾ Yong-Nam Kim,³⁾ and Jae-Yo Kim^{4)*}

¹⁾Dept. of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²⁾Dept. of Architectural Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

³⁾Housing Eng. Team, Samsung Engineering and Construction, Seoul 137-956, Korea

⁴⁾Dept. of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

ABSTRACT In a companion paper, a simplified method for the evaluation of the slab construction load was developed. Unlike existing methods, the proposed method includes the effects of shore stiffness and concrete cracking on the construction load. In the present study, construction loads were measured in actual flat-plate slabs. For verification, the measured shore-forces were compared with the predictions by the proposed method and existing methods. Further, the proposed method was applied to a wall-slab structure, and the prediction results were compared with the measurements. The comparison results showed that the proposed method well predicted the construction loads, furthermore it gave better predictions than the existing methods did.

Keywords : flat plate, axial shoring force, construction load, site measurement

1. 서 론

최근 국내에서 선호하고 있는 장스팬 플랫 플레이트 구조는 보 없이 슬래브 바닥판만으로 중력하중에 저항해야 하기 때문에 휨모멘트에 의한 균열손상에 취약하다. 특히 시공 중에는 조기재령 슬래브가 구조 내력을 충분히 발휘하기 전에 과도한 시공하중이 작용하여 슬래브에 균열을 발생시키고, 과도한 장기 처짐을 발생시킬 수 있다.¹⁻³⁾ 따라서, 시공 중 슬래브의 균열 손상을 억제하기 위해서는 설계와 시공 계획 단계에서 대책 마련이 필요하며, 정확한 시공하중 예측이 중요하다.

일반적으로 슬래브에 재하되는 시공하중에 영향을 미치는 주요 변수는 동바리에 의하여 지지되는 슬래브의 층 수, 층당 시공기간, 조기재령 콘크리트의 재료 특성 등이다. Grundy and Kabaila⁴⁾는 상부 슬래브 타설 혹은 하부 동바리 제거로 인하여 추가로 재하되는 하중을 동바리로 연결된 슬래브들의 재료강성비에 따라서 분배하며, 슬래브 콘크리트의 재령에 따른 강성의 변화를 고려

하였다. Mosallam and Chen⁵⁾은 콘크리트 타설과 동바리 제거에 의하여 변화하는 시공하중 뿐만 아니라, 모든 시점의 시공하중을 슬래브의 강성비에 따라서 분배하는 시공하중 산정방법을 제시하였다.

Liu 등⁶⁾과 El-Shahhat and Chen,⁷⁾ 양주경 등⁸⁾은 해석 연구를 통하여 기존의 변수뿐만 아니라 슬래브의 균열과 동바리 강성도 시공하중의 분배에 큰 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 따라서 저자들에 의한 이전 연구⁹⁾에서는 동바리로 지지되는 슬래브의 수, 층당 시공기간, 조기재령 콘크리트의 재료 특성뿐만 아니라 동바리 강성과 슬래브 균열의 영향을 고려할 수 있는 단순화된 시공하중 산정 방법을 개발하였다.

시공하중을 평가하기 위하여 기존의 연구들¹⁰⁻¹²⁾은 슬래브의 단기 혹은 장기 처짐을 계측하였다. 그러나 슬래브 처짐은 여러 가지 설계변수에 의하여 영향을 받아 시공하중을 정확히 평가할 수 없으므로, 최근 연구들에서는 동바리에 전달되는 시공하중을 계측하였다. Puente 등¹³⁾은 3개층에 대해 시공 중 각각 34개의 동바리 축력을 계측하여 시간에 따른 동바리 축력의 변화뿐만 아니라 각 위치에 따른 동바리 축력의 차이를 연구하였다. 강수민 등¹⁴⁾은 국내에서 주로 적용되는 구조형식인 벽식아파트의 시공하중을 계측하였다.

*Corresponding author E-mail : kimjyo@kw.ac.kr
 Received July 10, 2009, Revised September 18, 2009,
 Accepted October 19, 2009

이들 연구와 달리, 이 연구에서는 슬래브의 균열과 처짐에 주로 문제가 되는 짧은 시공주기로 건설되는 장스팬의 플랫 플레이트 슬래브에 대한 동바리 축력을 계측하였다. 측정결과와 비교를 통하여 제안된 시공하중 평가 방법의 유효성을 검증하였으며, 시공하중에 대한 슬래브 균열과 동바리 강성의 영향을 연구하였다.

2. 현장 계측 방법

계측 대상은 실제 시공 중인 기둥 지지형 플랫 플레이트 건물(S-building)로서, 업무 및 주거 복합시설로 계획되어 있으며, 계측은 장스팬 구간이면서 바닥면적이 넓은 주거시설을 대상으로 하였다(Fig. 1). 18층에서는 A슬래브에서 계측이 이루어졌고, 33층, 36층, 지붕층에서는 B슬래브에서 계측이 진행되었다. 처짐이 가장 크게 발생할 것으로 예상되는 위치의 동바리 하부에 로드셀을 설치하여 시공단계에 따른 동바리에 전달되는 하중 변화를 측정하였다. 측정 구간의 조건은 스패ん길이를 제외하고는 A, B슬래브 모두 동일하며, 슬래브 및 동바리 정보는 Table 1과 같다. Table 1에서 슬래브 콘크리트 28일 강도는 설계기준강도이다. 시공 중 동바리는 4벌이 사용되어, 4개층 동바리지지 시스템이 적용되었다.

대상 현장은 기본적으로 층당 6일 공정이 적용되었으나, 휴무일이나 우천 등의 현장상황에 따라 층당 6~7일의 주기로 시공되었다. 18층은 6일의 기준층 시공 주기

가 거의 일정하게 반복되는 구간이며, 33층, 36층, 지붕층은 각 층당 주기가 6일 이상의 다양한 주기에 의하여 시공되었다. 각 층의 계측 동바리의 위치는 Fig. 1에 표시된 바와 같으며, A슬래브에서는 18층에서만 슬래브 중앙부(#1)와 기둥과 슬래브 중앙부 사이(#2), 기둥 근처(#3)에서 동바리 축력을 계측하였고, B슬래브에서는 33층, 36층, 지붕층에서 슬래브 중앙부(#4) 동바리 축력을 계측하였다. A슬래브의 각 층 슬래브 타설과 동바리 제거 및 로드셀 설치 작업의 작업 순서는 Fig. 2와 같으며, 최상부층 슬래브 타설 1일 후 최하부층 동바리가 제거되었다.

동바리의 축력을 측정하기 위해 용량 10톤의 로드셀(load cell)을 사용하였다. 측정 위치 동바리 하부에 편심을 제어하기 위하여 구면좌와 함께 로드셀을 연직으로 설치하였다(Fig. 3). 로드셀은 거푸집 및 동바리 등 가설재를 설치할 때 동바리 하부에 설치함으로써 가설재 설치 이후 콘크리트 타설, 작업하중 등의 시공하중 변화를 측정할 수 있도록 하였다. 각 데이터는 데이터로거를 이용하여 5초 간격으로 측정하였다. 계측은 해당층 바닥 거푸집 설치 과정부터 아래층 바닥 동바리가 제거되는 과정까지 이루어졌다.

3. 계측 결과 및 분석

Fig. 4(a)는 18층 A슬래브에서 시공단계에 따른 동바리

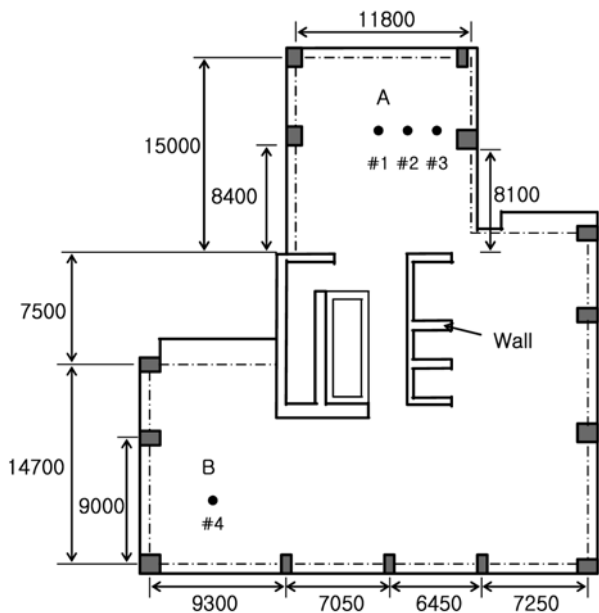


Fig. 1 Floor plans of S-building for construction load measurement (unit: mm)

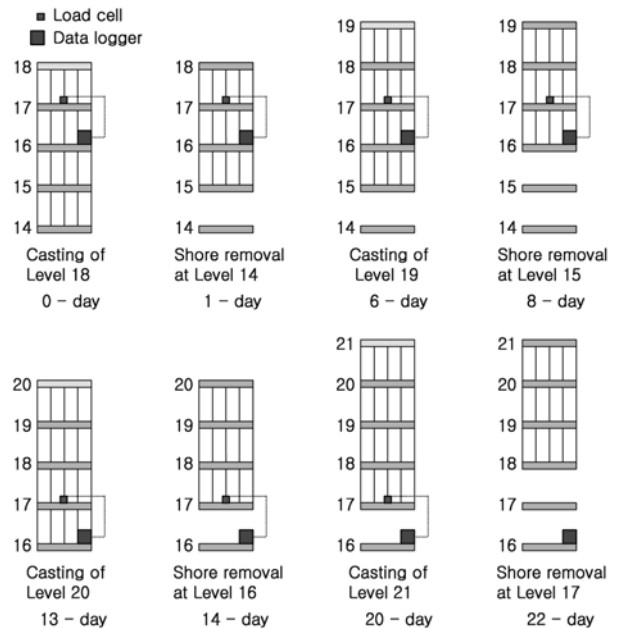


Fig. 2 Sequence of construction operations at 18th story

Table 1 Geometry and material conditions of flat plate slabs in S-building

Slab				Shore			
28day strength (MPa)	Span length (mm)	Thickness (mm)	Number of shored slabs	Elastic modulus (MPa)	Section area (mm ²)	Spacing (mm)	Height (mm)
30	9,300~11,800	300	4	70,000	864	1,300	2,750

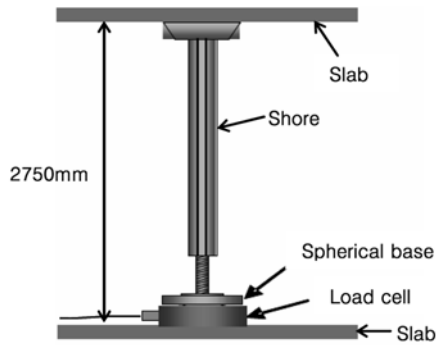


Fig. 3 Setting of load cells at the base of a shore

의 축력 변화를 나타낸다. 시공단계의 변화에 따라 큰 축력 변화를 보이는데 각 층 콘크리트를 타설하는 공정에서 축력이 가장 많이 상승하고 최하층 동바리가 제거되는 단계에서 축력이 가장 많이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 슬래브 내의 위치에 따라 동바리 축력이 다양하게 분포한다. 슬래브 중앙부에 위치한 동바리(#1)의 축력이 가장 크고, 기둥에 가까운 두 동바리(#2, #3)의 축력은 보다 작은 값을 보이고 있다.

Fig. 4(b)는 B슬래브에서 계측 결과를 나타내고 있다. 33층, 36층, 지붕층에서 B슬래브 중앙부의 동바리(#4) 축력을 계측하였다. 특히 시공하중의 크기가 다른 층에 비하여 작은 지붕층을 계측함으로써 시공조건이 다른 경우의 시공하중의 변화를 파악하였다. Fig. 4(b)에 나타난 시공하중의 변화는 Fig. 4(a)와 유사하였다. Fig. 4에서 별표(*)로 표시한 곳은 전기 공급의 중단으로 인하여 데이터 계측이 끊긴 구간이다.

4. 시공하중 예측법의 적용 및 검증

시공하중 예측을 위해 사용한 모델은 Table 2와 같다. 사용 모델은 Grundy and Kabaila⁴⁾의 방법(Grundy's method), Mosallam and Chen⁵⁾의 방법(Mosallam's method), 이 연구에서 제안된 방법(PM)이다. Grundy's method와 Mosallam's method는 동바리의 강성을 무한강성으로 가정하고 슬래

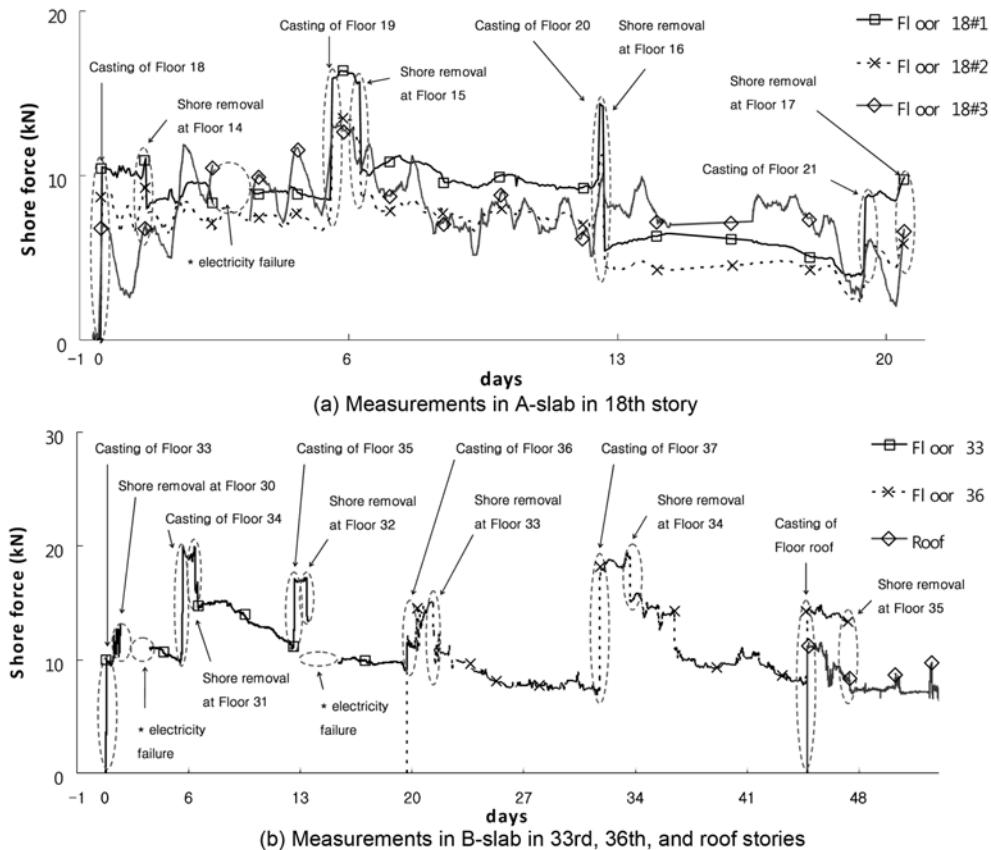


Fig. 4 Measurements of shore's forces (S-building)

Table 2 Proposed and existing methods for evaluation of construction load

Methods	Parameters considered		
	Concrete's age	Slab crack	Shore stiffness
Grundy's method	Yes	No	No
Mosallam's method	Yes	No	No
Proposed method (PM-I)	Yes	Yes	No
Proposed method (PM-K)	Yes	No	Yes
Proposed method (PM-IK)	Yes	Yes	Yes

브의 균열에 의한 단면강성 저하 효과를 무시하여, 재령에 따른 슬래브 콘크리트의 탄성계수비로 시공하중을 분배하는 방법이다. PM-I의 경우, 시공하중 산정과정은 Grundy's method와 동일하나, 슬래브 균열에 따른 유효 단면강성 감소모델⁹⁾을 적용한 방법이다. 이는 시공단계에서 하부 슬래브에 누적되는 시공하중에 의해 균열이 발생하기 시작하는 순간부터 슬래브의 유효단면강성을 감소시켜 시공하중을 분배하는 방법이며, Grundy's method 및 Mosallam's method와 마찬가지로 동바리 강성효과는 포함하지 않는다. PM-K는 Grundy's method를 기반으로 동바리 강성효과⁹⁾를 추가한 방법이다. PM-IK는 PM-I와 PM-K의 특징을 결합한 방법으로, 균열에 따른 유효단면 강성 감소와 실제 동바리 강성을 모두 고려하여 각 층 슬래브와 동바리에 작용하는 시공하중을 예측한다. PM-IK는 이전 연구⁹⁾에서 새롭게 제안한 방법으로서, 기존의 Grundy's method와 Mosallam's method의 결과 및 시공하중 계측값들과 비교함으로써 시공하중 산정의 타당성을 검증하고자 한다.

Fig. 5는 Table 1에 정리한 조건과 Fig. 1의 A슬래브에서 동바리 #1, #2, #3의 가로방향으로 스펠 11,800 mm

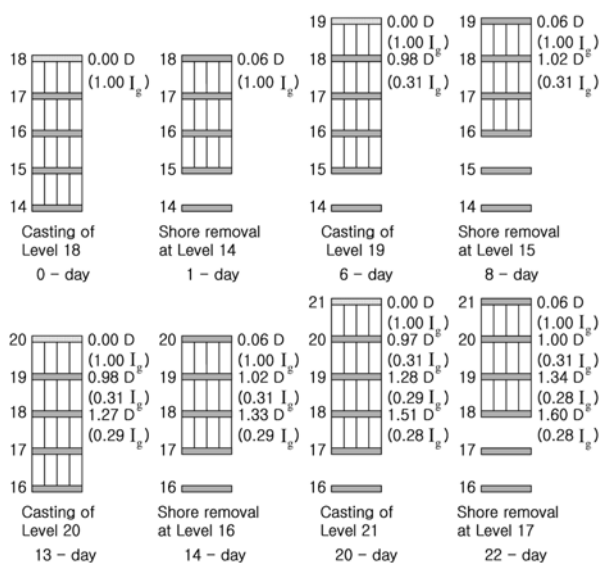


Fig. 5 Slab construction load and effective stiffness for proposed method PM-IK (S-building)

에 대해 해석한 결과로, 각 슬래브에 작용하는 시공하중을 나타낸다. 유효 스펠길이 산정을 위한 경계조건은 양 끝이 연속되지 않고 기둥에 의해 지지되므로 유효 스펠 길이계수 $\psi = 0.6 \sim 1.0$ 이나⁹⁾(Fig. 4(a)) 대상 현장에서 슬래브와 기둥을 동시에 시공한 관계로 기둥에 의한 구속 효과가 줄어들어 $\psi = 0.9$ 를 적용하였다. 각 슬래브의 시공하중은 슬래브 자중 D 에 대한 비로 표현하며, $1.0D$ 는 슬래브 자중만의 크기를 의미한다. 이전 연구⁹⁾에서 언급하였듯이, 슬래브 자중을 제외한 시공 활하중은 일반적으로 슬래브 자중의 50%로 가정되므로,¹⁵⁾ 해석에서 최상층 타설 시에는 최상층 슬래브에 $1.5D$ 의 하중이 작용하고, 동바리 제거 시에는 최상층에 자중 $1.0D$ 만 작용한다고 가정하여 슬래브 시공하중을 산정하였다. Fig. 5의 괄호 안의 값은 균열 발생에 의해 줄어든 슬래브의 유효 강성을 균열 발생 전의 강성 비로 나타낸 값이다. 슬래브에 작용하는 시공하중이 증가할수록 균열로 인한 유효 강성 감소로 인하여 하중 증가폭이 줄어든다.

Fig. 6의 괄호 안의 값은 Fig. 5의 슬래브 하중을 동바리 하중으로 전환한 것을 나타낸다. 최상층 슬래브 타설 시(0-day)에는 시공하중 $1.5D$ 가 작용하지만, 최상층 슬래브가 하중을 지지하지 못하므로 동바리로 $1.5D$ 가 전부 하부 슬래브로 전달된다. 동바리 제거단계(1-day)에서는 시공하중 $0.5D$ 는 작용하지 않고 자중 $1.0D$ 만 작용하며, 최상층 슬래브가 $0.06D$ 를 부담함에 따라 동바리는 $0.94D$ 를 하부 슬래브로 전달한다. 이와 같은 방법을 사용하여 시공 중 동바리 축력을 계산할 수 있다.

Fig. 6의 동바리 하중은 유효 스펠내의 각 동바리 축력의 평균값을 나타낸다. 제안된 방법에서는 동바리 강성을 고려하므로 동바리 축력의 평균값과 각 동바리의 처짐관계를 이용하면, 각 동바리의 축력을 계산할 수 있다.

연계 논문에서 등가강성비를 구하기 위해 사용한 Fig. 7의 스프링 지지되는 양단 단순보에서 각 스프링의 처짐

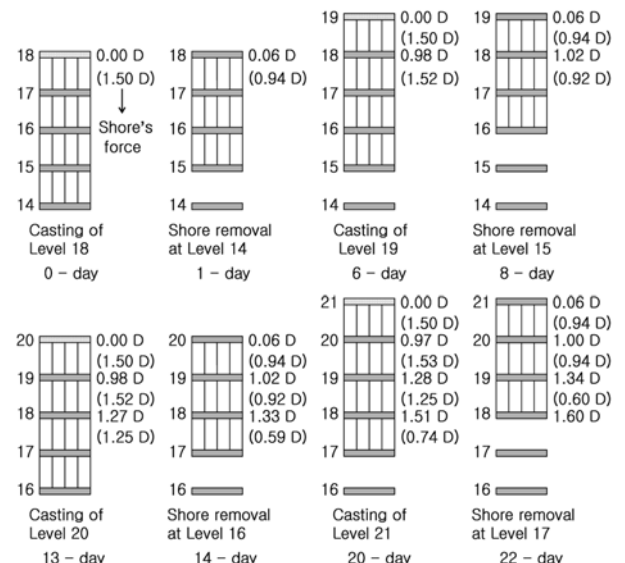


Fig. 6 Shores' axial forces calculated by proposed method PM-IK (S-building)

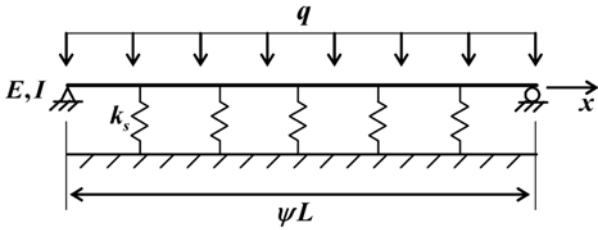


Fig. 7 Beam model supported by spring

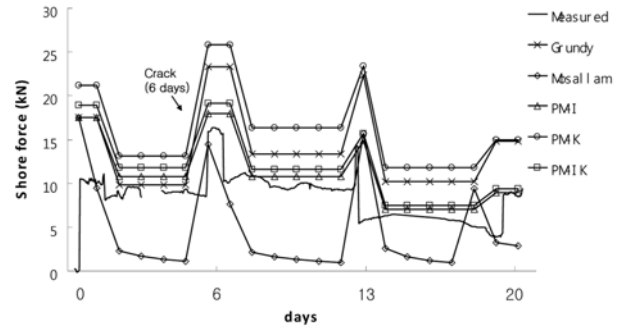
은 다음과 같다.

$$v = \frac{q}{k_s} \left[1 - \frac{2 \sin \frac{\beta L}{2} \cdot \sinh \frac{\beta L}{2}}{\cos \beta L + \cosh \beta L} \sin \beta x \cdot \sinh \beta x - \frac{2 \cos \frac{\beta L}{2} \cdot \cosh \frac{\beta L}{2}}{\cos \beta L + \cosh \beta L} \cos \beta x \cdot \cosh \beta x \right] \quad (1)$$

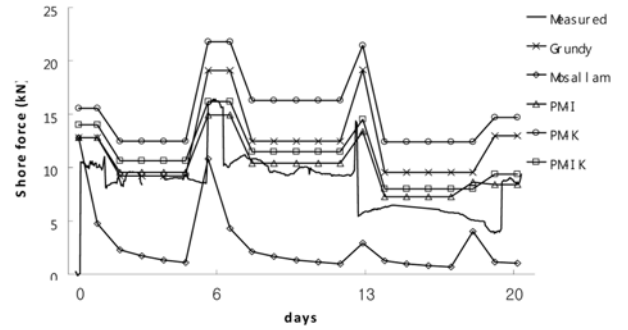
여기서 $\beta = \sqrt[4]{\frac{k_s}{4EI}}$ 이다.

식 (1)에 의한 각 동바리의 처짐(v_i)과 동바리 처짐의 평균값(v_m)의 비율을 Fig. 6에서 구한 동바리 축력에 곱하면, 각 위치에서의 동바리 축력을 나타낼 수 있다. Table 3은 시공활하중을 0.5D, 0.1D로 고려한 PM-IK와 시공활하중을 0.5D로 고려한 PM-K에 대해 식 (1)을 이용하여 v_m 과 18층 A슬래브의 #1, #2, #3에서의 동바리 처짐(v_1, v_2, v_3)과의 비율을 나타내고 있다. Grundy's method, Mosallam's method, PM-I는 동바리의 실제 강성을 고려하지 않으므로 각 동바리의 축력은 균등한 것으로 가정하므로 동바리 축력을 그대로 사용한다.

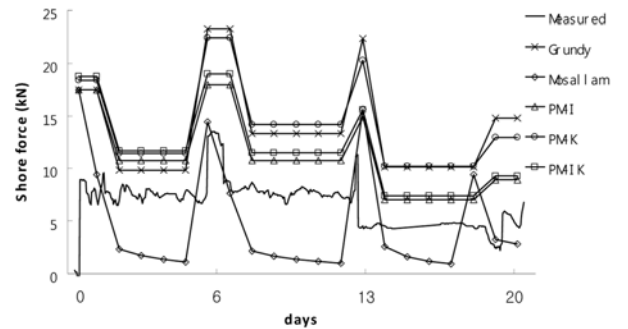
Fig. 8에서는 Table 2의 시공하중 모델로 구한 동바리 축력과 A슬래브 현장 계측 데이터인 18층의 동바리 축력 계측값을 비교하였다. Fig. 8(a)는 A-#1 동바리 축력에 대한 것으로서, 6일째에 슬래브에 균열이 발생하며, Grundy's method에 비해 PM-I, PM-IK가 시공 중 동바리 축력 계측값과 유사함을 보여준다. PM-IK는 중앙부 동바리 #1의 경우 중앙부 동바리 처짐에 따라 Fig. 6에서 계산한 값보다 동바리 축력이 9% 증가된다(Table 3). Table 4에서는 Fig. 8(a)의 동바리 하중 계측값과 각 시공하중 산정법으로 구한 동바리 하중을 비교하였다. 여기서 ratio는 (시공하중 산정값)/(계측값)으로서, 이 비율이 1.0에 가까울수록 시공 중 동바리 하중을 정확하게



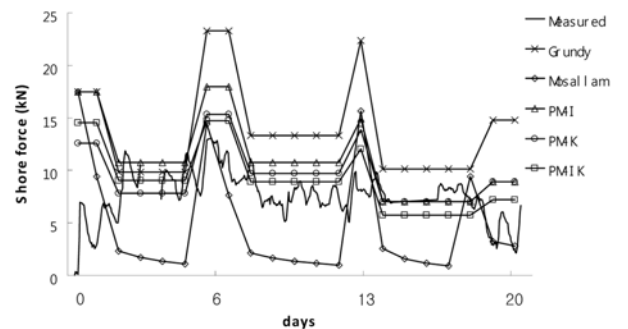
(a) Slab A#1 at Floor 18



(b) Slab A#1 at Floor 18 (1.1D)



(c) Slab A#2 at Floor 18 (1.5D)



(d) Slab A#3 at Floor 18 (1.5D)

Fig. 8 Comparison between predicted and measured shore's forces for 18th story slab

Table 3 Shore's deflections predicted for slab A (S-building)

Model	v_m (avg.)	v_1 (#1)	$\frac{v_1}{v_m}$	v_2 (#2)	$\frac{v_2}{v_m}$	v_3 (#3)	$\frac{v_3}{v_m}$
PM-IK(0.5D)	0.0573	0.0622	1.09	0.0618	1.08	0.0478	0.83
PM-IK(0.1D)	0.0572	0.0624	1.09	0.0617	1.08	0.0475	0.83
PM-K(0.5D)	0.0591	0.0651	1.21	0.0633	1.05	0.0366	0.72
PM-K(0.1D)	0.0547	0.0664	1.21	0.0578	1.05	0.0394	0.72

산정하는 것을 의미하며, PM-I, PM-IK의 비율이 1.0에 가장 가까운 값을 보인다.

동바리의 초기 계측값이 1.5D보다 작은 값에서 시작하는데, 그림에서 보면 이러한 시공 활하중의 차이는 하부층 지지 동바리에서는 시공하중 작용값의 영향이 크지 않음을 확인할 수 있다. 이에 대한 비교를 위하여 Fig. 8(b)에서는 시공 활하중을 자중의 10%로 가정하여 최상

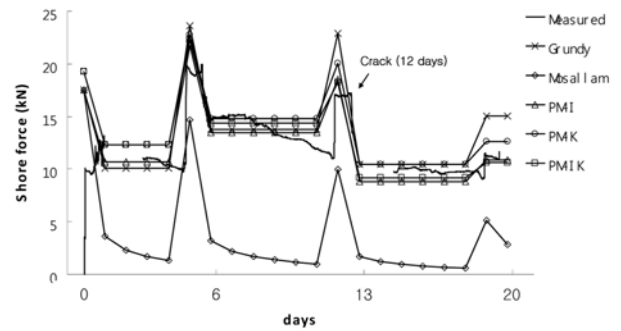
Table 4 Comparison between measured data and estimating methods for Fig. 8(a)

Day	2	6	8	13	14	19	
Measured force (kN)	8.6	16.0	10.9	14.2	6.3	8.8	
Grundy	Force (kN)	9.8	23.3	13.3	22.4	10.2	14.8
	Ratio	1.15	1.46	1.22	1.58	1.61	1.69
Mosallam	Force (kN)	2.3	14.4	2.1	15.7	2.6	3.3
	Ratio	0.27	0.90	0.19	1.10	0.40	0.37
PM-I	Force (kN)	10.8	18.0	10.8	14.9	7.0	8.9
	Ratio	1.26	1.13	0.99	1.05	1.11	1.02
PM-K	Force (kN)	13.2	25.8	16.4	23.4	11.8	15.0
	Ratio	1.54	1.61	1.50	1.65	1.87	1.71
PM-IK	Force (kN)	11.8	19.2	11.6	15.7	7.5	9.4
	Ratio	1.38	1.20	1.06	1.11	1.19	1.07

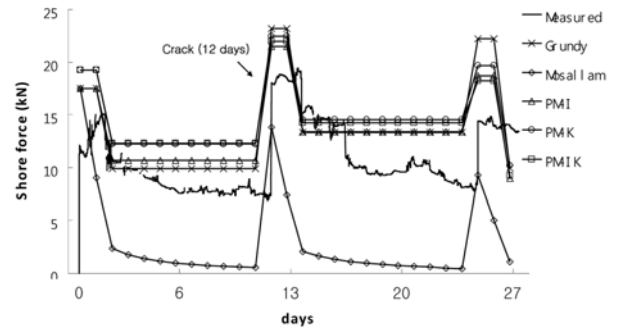
층 슬래브에 1.1D의 하중이 작용한 경우에 대해 해석하였다. Fig. 8(a)와 비교하여 상부 슬래브가 타설될 때 증가하는 동바리 축력을 제외하고는 시공 활하중의 크기에 관계없이 유사한 값을 갖는다.

Fig. 8(c)와 (d)에서는 #2, #3 동바리 축력을 각각 비교하고 있다. Table 3에서 PM-IK의 경우 #2 동바리에서는 축력이 8% 증가하고 기둥 근처인 #3 동바리에서는 축력이 17% 감소하였다. #2 동바리의 처짐이 중앙부인 #1 동바리의 처짐과 유사한 것은 스프링으로 지지되는 장스팬 단순지지 보의 처짐 형상에 따른 것이다. Fig. 8(c)의 PM-IK는 #2 동바리 축력 예측값에 비해 크지만 기존 시공하중 산정법에 비해서는 비교적 정확한 값을 갖는다. Fig. 8(d)는 기둥 근처의 동바리 축력이 감소되는 양상을 PM-IK모델에서 잘 반영됨을 보인다.

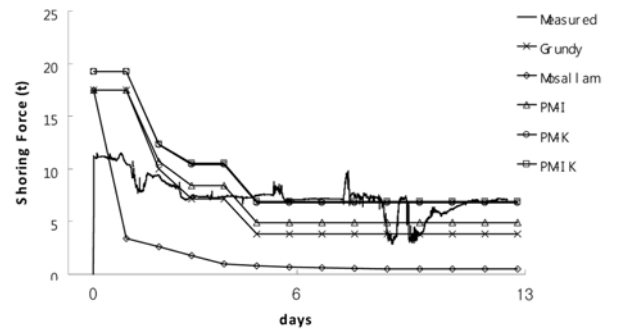
Fig. 9에서는 B슬래브 현장 계측 데이터를 비교하였다. 33층, 36층, 지붕층의 스패는 9,300 mm이며, 경계조건으로 한쪽은 슬래브가 불연속이고 다른 한쪽은 슬래브가 연속되므로 유효 스패계수 $\psi = 0.8$ 을 적용하였고, 상세 조건은 Table 1과 같다. 계측지점의 동바리 축력은 PM-IK와 PM-K 모두 동바리 #4의 처짐에 따라 평균 동바리 축력보다 10% 증가하였다. A슬래브에 비해 B슬래브의 유효 스패가 짧아져서 Fig. 8에 비해서는 제안법과 Grundy's method의 결과가 큰 차이가 발생하지 않았으며, 제안법의 결과들 간에도 큰 차이가 없었다. 다만, 상부 슬래브를 타설할 때 동바리 축력의 증가폭이 Grundy's method는 큰 폭으로 증가하는 데 반하여, 동바리 축력 예측값과 제안법은 증가폭이 점차 감소하여 동바리 축력 예측 위치가 동바리로 연결된 슬래브들의 최하층이 되었을 때 제안법과 Grundy's method의 차이가 확연히 나타난다. 이러한 현상은 33층과 36층에서 동일하게 나타났다. 지붕층의 동바리 축력의 경우 하부 층 동바리 제거에 의해서만 하중분배가 발생하며, 하부 층 동바리가 제거될수록 Grundy's method에 비해 제안법인 PM-IK가 동바리 계측 축력과 비슷해지는 양상을 보인다.



(a) Slab B#4 at Floor 33



(b) Slab B#4 at Floor 36



(c) Slab B#4 at roof

Fig. 9 Comparison between predicted and measured shore's forces for 33, 36, and roof slabs

이상과 같이, 다양한 설계 및 시공 조건에 따른 동바리 축력 예측결과와 여러 시공하중 산정 방법들에 의한 예측결과를 비교한 결과(Figs. 8, 9), 전반적으로 제안된 시공하중 산정 방법에 의한 예측 결과가 계측 결과와 보다 유사하였다. A슬래브의 경우 Grundy's method와 PM-I의 큰 차이로 미루어 보아 장스팬 슬래브에서 균열에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 특히 제안된 방법에서는 동바리 강성을 고려하여 각 동바리 위치에서의 동바리 축력의 차이를 고려할 수 있다.

5. 기존 계측 결과와의 비교

시공하중 산정법의 적용성 분석 및 검증을 위하여, 다양한 유형의 구조체에 대한 계측 결과와의 비교가 필요하다. 이를 위하여, 국내 주거형 건물에 대한 기존의 동바리 축력 예측 결과와의 비교를 수행하였다. 강수민 등¹⁴⁾은 벽식 플랫 플레이트 구조의 주거형 건물에 대한 시공 중

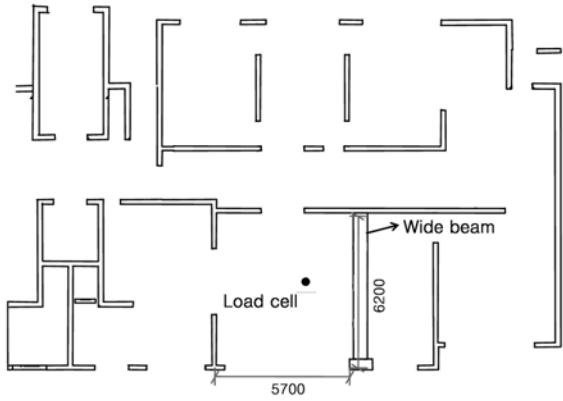


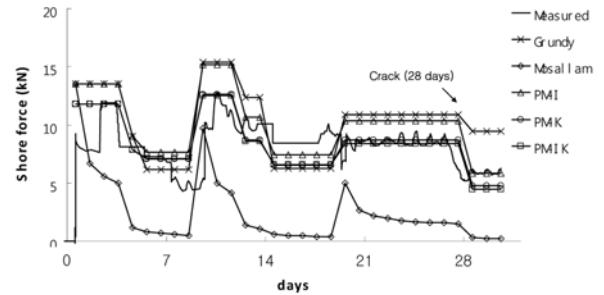
Fig. 10 Floor plan of a wall-slab structure measured by Kang *et al.*¹⁴⁾

동바리 축력을 계측하였다. 평면과 동바리 축력 계측 위치는 Fig. 10과 같다. 해당 슬래브의 스패ンは 6,200 mm이며, 경계조건은 한쪽은 벽체 지지되면서 연속이고 다른 한쪽은 슬래브가 연속되지 않으므로 유효 스패ん계수 $\psi = 0.8$ 을 적용하였다. 시공하중 산정을 위한 상세 조건들은 Table 5와 같다. Table 5에서 슬래브 콘크리트 28일 강도는 설계강도이다. 계측지점의 동바리 축력은 PM-IK와 PM-K 모두 평균 동바리 축력보다 13% 감소하였다. 슬래브 시공을 위하여 3개층 동바리지지 시스템이 적용되었고, 시공 스케줄 및 시공 활하중 작용에 대한 분석결과는 강수민 등¹⁴⁾의 논문에 제시되어 있으며, 이를 적용하여 동바리 하중을 산정하였다.

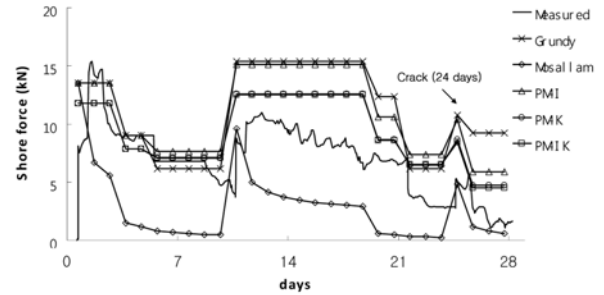
Fig. 11과 Table 6에서 비교하였듯이 Grundy's method는 동바리 축력 계측값에 비해 전반적으로 과대평가하는 것으로 나타났다. 반면에 제안법인 PM-IK의 경우 Grundy's method와 변화 양상은 유사하나 동바리 위치의 영향으로 인하여 동바리 축력의 크기가 감소하여 계측값과의 오차가 줄어들음을 보인다. 상대적으로 유효스패ん이 짧아 PM-IK는 균열에 의한 유효강성 감소효과가 크지 않아서 PM-K와 유사한 값을 가졌다. 전반적으로 동바리 강성효과가 균열에 의한 유효강성 감소효과보다 더 우세한 것으로 나타났다.

6. 결 론

이 연구에서는 기둥식 플랫폼 플레이트의 시공 중 동바리 축력을 계측하고 이를 제안한 시공하중 산정법 및 기존의 방법들과 비교하였다. 또한 기존의 벽식 아파트에서 측정된 동바리 축력값과도 비교하였다. 비교 결과 기존 방법들보다 제안된 방법은 계측결과에 근접하였다. 특히



(a) Floor 10



(b) Floor 11

Fig. 11 Comparison between predicted and measured shore's forces for wall-supported slabs

Table 6 Comparison between measured data and estimating methods for Fig. 11(a)

Day		4	5	9	12	14	19	28
Measured force (kN)		8.1	7.3	12.4	9.5	8.4	8.9	5.9
Grundy	Force (kN)	9.0	6.2	15.4	12.4	6.3	10.9	9.4
	Ratio	1.11	0.85	1.25	1.30	0.74	1.22	1.60
Mosallam	Force (kN)	1.2	0.8	9.7	1.4	0.6	5.0	0.3
	Ratio	0.14	0.11	0.79	0.14	0.07	0.56	0.05
PM-I	Force (kN)	9.0	7.7	15.2	10.6	7.4	10.3	5.8
	Ratio	1.11	1.05	1.23	1.12	0.88	1.16	0.99
PM-K	Force (kN)	7.9	7.0	12.6	8.7	6.5	8.7	4.8
	Ratio	0.96	0.97	1.02	0.91	0.77	0.97	0.81
PM-IK	Force (kN)	7.9	7.1	12.5	8.6	6.6	8.4	4.5
	Ratio	0.96	0.98	1.01	0.90	0.78	0.94	0.76

제안된 방법에서는 슬래브의 처짐을 고려하여 동바리 축력의 변화를 산정할 수 있었다.

전반적으로 유효 스패ん길이에 따라 동바리 강성과 슬래브 균열 효과의 비중이 달라졌으며, 상대적으로 유효 스패ん이 긴 슬래브에서는 균열에 의한 영향이 우세하였으며, 유효 스패ん이 짧은 슬래브에서는 동바리 강성의 영향이 우세하였다.

Table 5 Geometry and material conditions for slabs of a wall-slab structure reported by Kang *et al.*¹⁴⁾

Slab				Shoring system			
28-day strength (MPa)	Span length (mm)	Thickness (mm)	Number of shored slabs	Elastic modulus (MPa)	Section area (mm ²)	Spacing (mm)	Height (mm)
24.0	6,200	210	3	70,000	832.7	1,350	2,900

감사의 글

이 연구는 2009년도 삼성물산 주택ENG팀의 “장스팬 슬래브의 처짐 저감 방안 개발”에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Gardner, N. J. and Fu, H. C., “Effects of High Construction Loads on the Long-Term Deflections of Flat Slabs,” *ACI Structural Journal*, Vol. 84, No. 3, 1987, pp. 349~360.
2. 강성훈, 최경규, 박홍근, “시공 하중의 영향을 받는 플랫 플레이트의 최소 두께,” 콘크리트학회 논문집, 15권, 5호, 2003, pp. 650~661.
3. 김재요, “플랫 플레이트 시스템의 처짐에 대한 시공 중 과하중의 영향 평가를 위한 실용해석 기법의 적용,” 한국전산구조공학회 논문집, 22권, 1호, 2009, pp. 25~34.
4. Grundy, P. and Kabaila, A., “Construction Loads on Slab with Shored Formwork in Multistory Buildings,” *ACI Journal*, Vol. 60, No. 12, 1963, pp. 1729~1738.
5. Mosallam, K. H. and Chen, W. F., “Determining Shoring Loads for Reinforced Concrete Construction,” *ACI Structural Journal*, Vol. 88, No. 3, 1991, pp. 340~350.
6. Liu, X., Chen, W. F., and Bowman, M. D., “Construction Load Analysis for Concrete Structures,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 5, 1985, pp. 1019~1036.
7. El-Shahhat, A. M. and Chen, W. F., “Improved Analysis of Shore-slab Interaction,” *ACI Structural Journal*, Vol. 89, No. 5, 1992, pp. 528~537.
8. 양주경, 설현철, 김진근, “시공 단계 및 비탄성거동을 고려한 초고층 건축물의 3차원 해석 기법 개발,” 콘크리트학회 논문집, 20권, 2호, 2008, pp. 249~256.
9. 황현중, 박홍근, 홍건호, 임주혁, 김재요, “동바리 강성 및 슬래브 균열 영향을 고려한 플랫 플레이트의 시공하중 산정,” 콘크리트학회 논문집, 22권, 1호, 2010, pp. 41~50.
10. Rangan, B. V., “Estimation of Slab Deflection in Flat Plate Buildings,” *ACI Journal*, Vol. 83, No. 1, 1986, pp. 269~273.
11. Vollum, R. L., Moss, R. M., and Hossain, T. R., “Slab Deflection in the Cardington In-Situ Concrete Frame Building,” *Magazine of Concrete Research*, Vol. 54, No. 1, 2002, pp. 23~34.
12. Gilbert, R. I. and Guo, X. H., “Time-dependent Deflection and Deformation of Reinforced Concrete Flat Slabs-an Experimental Study,” *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No. 3, 2005, pp. 363~373.
13. Puente, I., Azkune, M., and Insausti, A., “Shore-slab Interaction in Multistory Reinforced Concrete Buildings during Construction: An Experimental Approach,” *Engineering Structures*, Vol. 29, No. 5, 2007, pp. 731~741.
14. 강수민, 오재근, 김옥중, 이도범, “현장계측을 통한 RC 벽식아파트의 시공 중 하중 및 거동변화 분석,” 대한건축학회논문집, 25권, 2호, 2009, pp. 37~48.
15. ACI 347.2R-05, “Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings,” *ACI Committee 347*, American Concrete Institute, 2005, 18 pp.

요약 연계 논문에서는 슬래브의 시공하중을 산정하는 간략화한 방법을 개발하였다. 기존 방법과 달리, 제안 방법은 동바리 강성과 시공하중에 의한 콘크리트 균열 효과를 고려할 수 있다. 이 연구에서는 실제 플랫 플레이트 슬래브에서 시공하중을 계측하였다. 제안 방법의 입증을 위하여, 계측된 동바리 하중은 제안 방법과 기존 방법으로 예측한 결과와 비교되었다. 또한, 제안 방법은 기존 연구에서 측정된 벽식 구조에도 적용되었고, 예측 결과는 계측 결과와 비교되었다. 비교 결과, 제안 방법은 시공하중을 잘 예측하였고, 기존 방법에 비해 더 우수한 예측 결과를 보여주었다.

핵심용어 : 플랫 플레이트, 동바리 축력, 시공 하중, 현장 계측