

플랫 플레이트의 장단기 처짐에 대한 중공 슬래브의 자중저감 효과 분석

김 재 요^{1†}

¹광운대학교 건축공학과

Analysis of Weight Reduction Effect of Void Slab on Long and Short Term Deflections of Flat Plates

Jae-Yo Kim^{1†}

¹Dept. of Architectural Engineering, KwangWoon Univ., Seoul, 01897, Korea

Abstract

The RC flat plate system has benefits such as a short construction time, an improvement of workability and a floor height reduction. In the case of long span slab, cracking damages and large deflections tend to occur due to the low flexural stiffness of flat plates. Specially, over-loading by self-weight of slab during construction increases short and long-term deflections. These problems may be solved by the use of void slab that has benefits of the reduced self-weight. In this study, to analyze an effect of self-weight reduction of void slab on slab deflections, the parametric study is performed. Including variable conditions such as a concrete strength, a slab construction cycle, the number of shored floors, a compressive reinforcement ratio and a tensile reinforcement ratio, slab construction loads and deflections are calculated by considering the construction stages, concrete cracking, and long-term effects. The short-term deflections during construction and the long-term deflections after construction of both of normal and void slabs are compared and the effects of void slab on the reduction of slab deflections are analyzed.

Keywords : flat plate, void slab, long-term deflection, short-term deflection, construction load

1. 서 론

주상복합 건물에서 빈번히 사용되는 플랫 플레이트는 층고 저감, 시공성 향상, 자유로운 평면 계획, 리모델링 용이성 등의 장점을 갖고 있는 바닥구조이다. 그러나 작은 휨강성으로 인하여 처짐에 의해 부재 설계가 지배받을 수 있어 철저한 구조 검토가 요구된다. 특히 시공 중 새롭게 타설된 슬래브 콘크리트는 강도 및 강성을 충분히 발휘할 수 없으므로, 일정기간 자중을 스스로 지탱하지 못하고 동바리로 연결된 하부 층으로 자중의 전체 혹은 일부를 전달하여야 한다. 동바리 연결 상태에 따라 하부 층 슬래브들에 작용하는 시공하중은 지속적으로 변하며, 조건에 따라 슬래브 자중의 2배가 넘는 시공하중의 영향을 받을 수 있다(Hwang *et al.*, 2010).

동바리를 통하여 전달되는 시공하중으로 인하여 조기재령 슬래브에 과도한 하중이 작용함으로써, 처짐과 균열이 심화될 수 있으며, 이러한 조기재령 슬래브에서의 손상은 장기적인 사용성 저하를 유발할 수 있다(Gardner and Fu, 1987; Vollum *et al.*, 2002; Kim, 2009; Kang *et al.*, 2013).

이러한 플랫 플레이트 시스템의 문제점을 해결하기 위하여 슬래브 내부에 중공부를 설치함으로써 슬래브의 자중을 저감시키는 중공 슬래브의 사용이 증가하는 추세이다. 플랫 플레이트의 콘크리트 타설 전 슬래브의 상부근과 하부근 사이에 중공을 형성할 수 있는 중공형성체를 설치하고 타설함으로써 슬래브의 복부에 중공을 형성하는 바닥구조 시스템이다(Kim *et al.*, 2009; Chung *et al.*, 2014a). 중공형성체 부피만큼의 콘크리트 중량이 감소되기 때문에 시공 중 슬래브에 작용하는 시공

[†] Corresponding author:

Tel: +82-2-940-5637; E-mail: kimjyo@kw.ac.kr

Received June 26 2017; Revised July 25 2017;

Accepted July 26 2017

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하중을 경감함으로써 슬래브의 초기 손상을 줄일 수 있고, 단기 및 장기 처짐의 감소 효과를 얻을 수 있을 것이다. 중공 슬래브의 휨성능에 관한 연구(Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013; Chung *et al.*, 2014a)나 전단성능에 관한 연구(Chung *et al.*, 2014b; Kang *et al.*, 2016)가 수행되어 왔으나, 시공단계 효과를 고려한 중공 슬래브의 처짐에 관한 연구는 수행된 바가 없다.

본 연구는 플랫 플레이트 시스템을 대상으로, 다양한 설계 및 시공 조건에 대하여 중공 슬래브 적용에 따른 장단기 처짐 성능을 분석한다. 이를 통하여, 중공 슬래브의 자중 저감 효과에 따른 사용성 향상 효과를 확인하며, 중공 슬래브 적용을 통하여 효과적인 처짐 저감을 이룰 수 있는 설계 및 시공 조건에 대하여 분석한다.

2. 슬래브의 시공하중 및 처짐 산정

슬래브의 처짐에 따른 시공성 및 사용성을 평가하기 위해서는 시공하중의 영향을 반영하여야 한다. 이를 위하여, 동바리로 연결된 상부 슬래브에 작용하는 하중을 부담하여 콘크리트 재령 변화와 함께 슬래브에 작용하는 하중이 지속적으로 변하는 시공단계 효과와 콘크리트 강도 및 강성이 미발현된 상황에서 균열을 고려한 단면강성 저하를 반영하는 슬래브 균열 효과 등을 포함하여 장단기 처짐을 산정한다.

2.1 슬래브 시공하중 산정

슬래브에 작용되는 시공하중을 ACI 347.2R-05의 단순 해석 방법을 의해 콘크리트의 재령에 따라 강성을 고려하여 간편법을 통해 시공하중을 산정하였다(Choi *et al.*, 2012; Kim and Park, 2016). 슬래브 한 개 층의 자중을 DL로 표현하였고, 작업에 따른 시공하중은 슬래브 자중에 비례 하도록 0.5DL로 가정하였다. 시공주기 및 동바리지지 층 수에

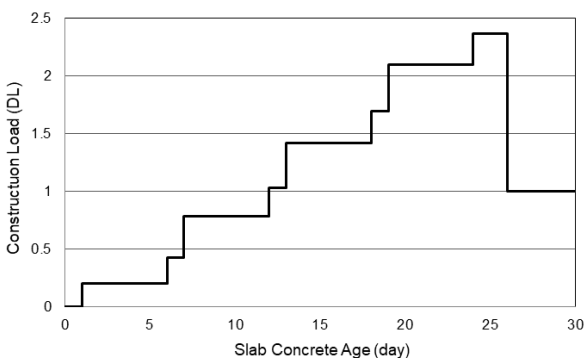


Fig. 1 Slab Construction Load

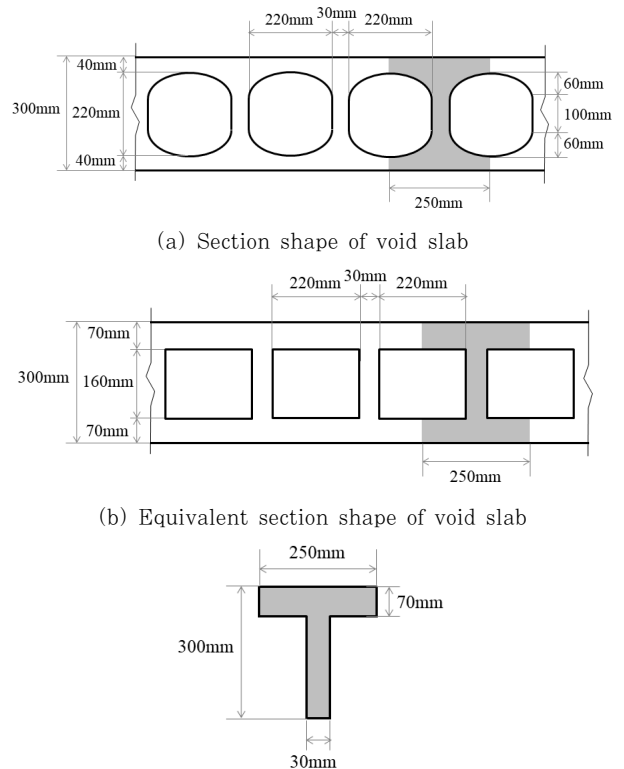
따라 콘크리트 재령별로 슬래브에 작용하는 시공하중을 정의 할 수 있다(Fig. 1).

중공 슬래브의 자중은 중공형성체가 차지하는 체적에 따라 결정되며, 이 연구에서 적용하는 중공형성체의 형상을 고려하고 자중 저감의 측면에서 다소 보수적으로 중공률 25%를 적용하여 동일 두께 슬래브 자중에 대한 0.75DL을 적용하였다(Chung *et al.*, 2014).

2.2 슬래브 처짐 산정

이 연구에서는 기존연구(Choi *et al.*, 2012; Kim and Park, 2016)의 슬래브 처짐 산정 과정을 적용한다. 각 시공 단계별 탄성계수와 시공하중의 비율에 따른 계수 및 유효단면 2차모멘트값 변화에 따른 증폭계수를 적용하여 탄성처짐값으로부터 직접 슬래브 처짐값을 산정하는 처짐해석법을 적용하여 즉시처짐값을 산정한다. 또한, 구조기준(KCI, 2012)에서 제시하는 시간경과계수를 적용하여 장기처짐값을 산정한다. 이 때, 플랫플레이트의 중앙부 처짐값은 교차보법에 의하여 산정한다. 교차보법에서는 각 방향의 주열대와 중간대를 연속 보로 간주하고 각각의 처짐을 계산하여 중첩함으로써, 슬래브 중앙부의 처짐을 산정한다.

먼저 주요 시공단계별로 시공하중을 산정한 뒤 플랫 플레이트



(a) Section shape of void slab
(b) Equivalent section shape of void slab
(c) Equivalent t-section for effective moment of inertia
Fig. 2 Assumption for equivalent section of void slab

각 지점의 단위 폭 당 모멘트를 직접설계법에 따라 산정한다. 슬래브 1개층 자중과 28일 재료강성을 적용하여 주열대의 탄성처짐값과 중간대의 탄성처짐값을 산정한 뒤, 해당 시공단계의 시공하중 및 재령에 따른 탄성계수를 비례적으로 적용하여, 각 시공단계별로 탄성처짐 증가값과 모멘트값을 결정한다. 시공단계에서의 처짐 증가값에 지속하중에 의해 생긴 순간처짐의 크리프와 건조수축에 의한 장기 처짐 효과를 곱한 값을 누적하여 장기 처짐을 산정한다. 시공단계별로 탄성처짐 증가값과 모멘트값을 정하는 단계부터 장기 처짐을 산정하는 과정을 반복하며, 이때 시공하중이 감소하는 경우를 처짐의 탄성이 회복되는 것으로 가정한다.

중공 슬래브의 경우 중공 부위로 인해 유효단면 2차모멘트를 산정하는 과정이 일반 슬래브와 다르게 적용되어야 한다. 이 논문에서는 중공 슬래브의 휨강성의 고려 시 중공 부위를 제외한 등가의 T형 단면으로 가정한다(Ministry of Construction and Transportation, 2001). 이 연구에서 대상으로 하는 중공 슬래브의 단면 형상은 Fig. 2(a)와 같으며(Kim *et al.*, 2009), 중공 부위의 타원 형상을 직사각형으로 단순화하여(Fig. 2b) 타원 부위의 중간 높이를 중공 상한면으로 하는 입방체 중공으로 가정할 수 있으며, 인장측 콘크리트를 무시하고 T형 단면으로 가정(Fig. 2c)한 유효단면 2차모멘트를 산정할 수 있다.

3. 중공 슬래브의 처짐 제어 효과 분석

3.1 해석 모델 설정

기본형 슬래브와 중공 슬래브 처짐 제어 효과의 비교 분석을 위해 주요 설계 및 시공 변수인 콘크리트 강도, 동바리 지지층수, 시공주기, 압축철근비, 인장철근비를 변화시키면서 장단기 처짐을 산정한다. 순경간 8m×8m인 내부경간 플랫폼 플랫 플레이트를 적용 대상으로 하여, 슬래브의 두께는 300mm로 고정하고, 그 외의 조건은 Table 1과 같이 다양한 조건으로 변화하여 적용한다. 변수별로 조합된 조건별로 중공 부위를 포함하는 중공 슬래브와 중공 부위를 포함하지 않는 일반 슬래브 각각에

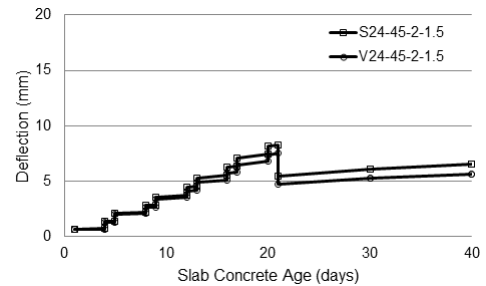
대하여 처짐 해석이 수행된다. 중공 슬래브의 경우, 중공의 영향으로 감소된 시공하중("2.1 슬래브 시공하중 산정")과 유효 단면 2차모멘트 산정 방식의 변화("2.2 슬래브 처짐 산정")를 고려하여 처짐이 산정된다.

일반 및 중공 슬래브에 대해서 각각 32개, 총 648개의 해석 모델을 대상으로 장단기 처짐 해석이 수행된다.

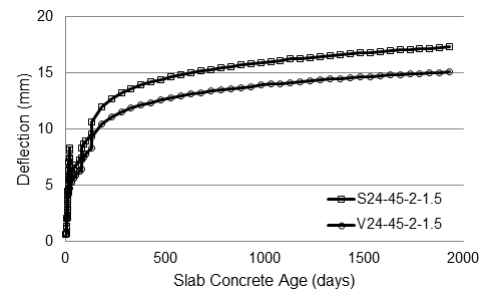
3.2 중공 슬래브와 일반 슬래브 장단기 처짐 비교

장단기 처짐값의 변화를 분석하기 위해서, 시공 중의 최대 처짐과 사용 단계의 장기처짐에 대한 분석을 수행한다. 장기 처짐은 지속하중에 의한 장기 처짐값과 활하중에 의한 순간 처짐값의 합(δ_{long})을 식 (1)과 같이 산정한다(Choi *et al.*, 2012; Kim and Park, 2016).

$$\delta_{long} = \delta_{res} \times \frac{\xi_1}{1+50\rho} + \delta_{SDL} \times \frac{\xi_2}{1+50\rho} + \delta_{LL} \tag{1}$$



(a) Short-term deflections during construction



(b) Long-term deflections

Fig. 3 Short and long-term deflections for S24-45-2-1.5 and V24-45-2-1.5

Table 1 Analytical conditions for flat plates

Fixed conditions				Variable conditions				
Span length (m)	Slab thickness (mm)	Reinforcement ratio, ρ_0 (%)		Concrete strength (MPa)	Construction cycle (day)	Number of shored floors	Compressive reinforcement ratio (%)	Tensile reinforcement ratio
		Column strip	Middle strip					
8.0	300	Top 0.69	Top 0.22	24	3	3	0.2	ρ_0
		Bottom 0.29	Bottom 0.20	30	4	4	0.3	$1.25\rho_0$
				35	5	5	0.4	$1.5\rho_0$
				40				

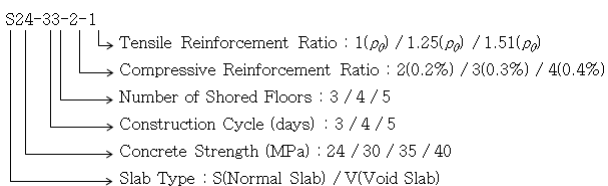
여기서, δ_{res} 는 슬래브 자중만으로 발생한 잔류처짐을 의미하며, δ_{SDL} 은 마감하중 작용에 의한 순간처짐 증가값, δ_{LL} 은 활하중 작용에 의한 순간처짐 값, ρ' 은 압축철근비이다. ξ_1 은 잔류 처짐에 대한 시간경과계수(KCI, 2012)로, δ_{res} 에 포함되어 있는 초기 약 30일 정도의 시간경과를 무시하기 위하여, 5년

이상에 대한 시간경과계수값 2.0에서 1개월에 해당하는 시간 경과계수 0.5를 제하고 1.5만을 적용하였으며, ξ_2 는 마감하중에 대한 시간경과계수로, 작용 시점부터 처짐을 계산하므로 5년 이상에 대한 시간경과계수값 2.0을 그대로 적용하였다.

Fig. 3은 동일 조건의 해석 모델인 S24-45-2-1.5와

Table 2 Summary of analytical models and results for 24MPa of concrete strength

Normal slab			Void slab				
Model	Max. deflection during construction (mm)	Long-term deflection (mm)	Model	Max. deflection during construction (mm)	Long-term deflection (mm)	Reduction ratio of deflections compared to normal slab	
						Max. deflection during construction	Long-term deflection
S24-33-2-1	21.81	16.84	V24-33-2-1	16.03	13.19	26.5%	21.7%
S24-33-2-1.25	19.43	15.95	V24-33-2-1.25	14.92	12.58	23.2%	21.1%
S24-33-2-1.5	17.93	15.20	V24-33-2-1.5	13.98	12.14	22.0%	20.1%
S24-33-3-1	19.16	15.21	V24-33-3-1	14.94	12.03	22.0%	20.9%
S24-33-3-1.25	18.21	14.69	V24-33-3-1.25	14.22	11.72	21.9%	20.2%
S24-33-3-1.5	17.27	14.21	V24-33-3-1.5	13.71	11.35	20.6%	20.2%
S24-33-4-1	17.36	13.55	V24-33-4-1	13.72	10.88	21.0%	19.7%
S24-33-4-1.25	16.88	13.34	V24-33-4-1.25	13.37	10.75	20.8%	19.4%
S24-33-4-1.5	16.28	13.08	V24-33-4-1.5	13.24	10.48	18.7%	19.9%
S24-34-2-1	12.29	12.63	V24-34-2-1	10.40	10.58	15.4%	16.2%
S24-34-2-1.25	11.81	12.23	V24-34-2-1.25	10.04	10.29	15.0%	15.9%
S24-34-2-1.5	11.35	11.86	V24-34-2-1.5	9.70	10.04	14.5%	15.4%
S24-34-3-1	11.83	11.74	V24-34-3-1	10.05	9.86	15.1%	16.0%
S24-34-3-1.25	11.47	11.45	V24-34-3-1.25	9.77	9.66	14.8%	15.6%
S24-34-3-1.5	11.11	11.18	V24-34-3-1.5	9.49	9.50	14.6%	15.0%
S24-34-4-1	11.32	10.87	V24-34-4-1	9.68	9.19	14.5%	15.5%
S24-34-4-1.25	11.07	10.69	V24-34-4-1.25	9.47	9.07	14.5%	15.2%
S24-34-4-1.5	10.79	10.50	V24-34-4-1.5	9.35	8.94	13.45%	14.9%
S24-35-2-1	9.19	11.24	V24-35-2-1	8.30	9.90	9.7%	11.9%
S24-35-2-1.25	9.03	11.08	V24-35-2-1.25	8.13	9.75	10.0%	12.0%
S24-35-2-1.5	8.86	10.91	V24-35-2-1.5	7.97	9.61	10.1%	11.9%
S24-35-3-1	8.99	10.58	V24-35-3-1	8.10	9.31	9.9%	12.0%
S24-35-3-1.25	8.85	10.45	V24-35-3-1.25	7.96	9.18	10.1%	12.2%
S24-35-3-1.5	8.70	10.30	V24-35-3-1.5	7.81	9.08	10.2%	11.8%
S24-35-4-1	8.81	10.00	V24-35-4-1	7.94	8.79	9.9%	12.1%
S24-35-4-1.25	8.68	9.88	V24-35-4-1.25	7.80	8.69	10.1%	12.0%
S24-35-4-1.5	8.54	9.76	V24-35-4-1.5	7.75	8.59	9.3%	12.00%
S24-43-2-1	20.12	16.56	V24-43-2-1	15.62	13.11	22.4%	20.8%
S24-43-2-1.25	18.56	15.66	V24-43-2-1.25	14.60	12.51	21.3%	20.1%
S24-43-2-1.5	17.37	14.93	V24-43-2-1.5	13.72	12.04	21.0%	19.4%
S24-43-3-1	18.57	14.99	V24-43-3-1	14.65	11.98	21.1%	20.1%
S24-43-3-1.25	17.67	14.47	V24-43-3-1.25	13.97	11.63	20.9%	19.6%
S24-43-3-1.5	16.79	13.96	V24-43-3-1.5	13.39	11.32	20.3%	18.9%
S24-43-4-1	17.00	13.45	V24-43-4-1	13.58	10.88	20.1%	19.1%
S24-43-4-1.25	16.52	13.20	V24-43-4-1.25	13.19	10.75	20.2%	18.6%
S24-43-4-1.5	15.93	12.91	V24-43-4-1.5	13.01	10.50	18.3%	18.7%



V24-45-2-1.5의 장단기 처짐값의 변화를 나타낸 그림이다. 시공단계 초기에는 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐이 거의 동일하였는데, 이는 중공 슬래브의 전단면 2차모멘트 값이 일반 슬래브보다 작기 때문에 자중 감소로 인한 처짐 저감 효과를 상쇄하였기 때문이다. 그러나 시간이 지남에 따라, 상부 슬래브에서 동바리를 통해 전달해오는 시공하중이 점차 증가하면서 균열에 따른 유효단면 2차모멘트값 감소가 일반 슬래브에서 더 크게 발생함으로써, 중공 슬래브의 자중 저감에 따른 처짐 감소 현상이 뚜렷이 관찰되었다. 시공 완료 시점의 잔류처짐값 및 균열 손상의 차이로 인해, 장기처짐에서도 중공 슬래브의 효과가 지속적으로 관찰되었다.

Table 2는 콘크리트 강도 24MPa인 해석모델들의 처짐 산정 결과의 일부를 나타내고 있다. 해석모델명은 표 하단에 제시된 바와 같이 5개의 변수조건을 나타내고 있으며, 시공 중의 최대 처짐과 식 (1)에 의해 나타낼 수 있는 장기처짐값을 제시하고 있다. 아울러, 중공 슬래브 적용에 따른 효과를 분석하기 위하여, 동일한 변수조건에서 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐값을 비교하여, 중공 슬래브 적용에 따른 처짐값 감소 비율을 함께 나타내고 있다.

3.3 변수 별 처짐 제어 효과 분석

변수별로 중공 슬래브의 처짐 감소 효과를 분석하기 위하여, 일반 슬래브 모델 324개의 장기처짐 해석 결과와 중공 슬래브 모델 324개의 장기처짐 해석 결과를 변수조건별로 분류하여 정리하였다. 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐값 비교 및 중공 슬래브 적용에 따른 처짐 감소 비율을 분석하였으며, 변수조건별 분석 결과는 다음과 같다.

1) 콘크리트 강도에 대한 영향

Fig. 4는 장기처짐에 대한 해석결과 전체를 콘크리트 강도

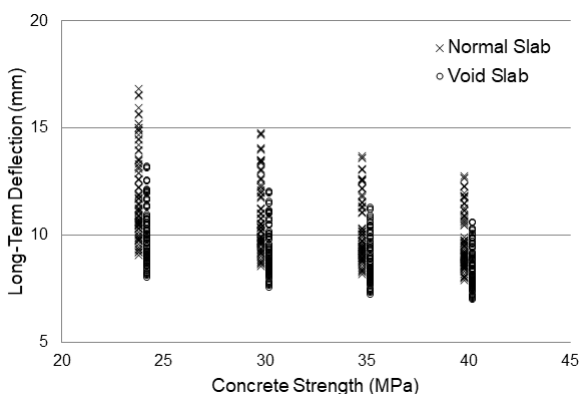
24MPa, 30MPa, 35MPa, 40MPa로 분류하여 분석한 결과이다. 일반 슬래브와 중공 슬래브 모두 콘크리트 강도가 증가할수록 처짐이 감소하는 경향을 보였다.

모든 콘크리트 강도 조건에서 중공 슬래브의 처짐이 일반 슬래브의 처짐보다 적었으며, 이를 통해 중공 슬래브의 처짐 저감 효과를 확인할 수 있었다. 콘크리트 강도가 증가할수록 일반 슬래브의 처짐에 대한 중공 슬래브의 처짐 감소 비율은 감소하였다. Fig. 4(b)에서, 콘크리트 강도 별로 중공 슬래브의 처짐 감소 비율의 평균값을 비교하면, 콘크리트 강도 24MPa에서 평균 15.4%였던 감소 비율은 콘크리트 강도 40MPa에서 평균 12.8%로 감소하였다. 중공 슬래브의 자중 감소는 균열 손상 및 유효단면 2차모멘트 감소를 완화하는 효과가 크므로, 콘크리트 강도의 증가로 인해 균열모멘트가 증가함으로써 중공 슬래브의 자중 저감에 의한 유효단면 2차모멘트 감소 완화 효과가 상대적으로 감소하였다.

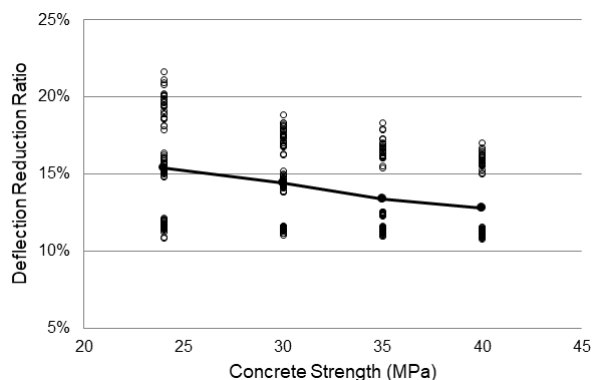
2) 시공주기에 대한 영향

Fig. 5는 장기처짐에 대한 해석결과 전체를 1개 층 시공주기 3일, 4일, 5일로 구분하여 분석한 결과이다. 모든 시공주기 조건에서 중공 슬래브의 처짐이 일반 슬래브의 처짐보다 적음을 확인할 수 있었다.

일반 슬래브와 비교한 중공 슬래브의 처짐 감소 비율은 시공 주기 3일, 4일, 5일에서 각각 14.3%, 14.1%, 13.7%로서, 시공주기가 증가할수록 중공슬래브의 처짐 감소 효과가 감소하지만, 그 차이는 매우 미세한 것으로 분석되었다(Fig. 5b). 1개 층 시공주기가 짧을수록, 콘크리트의 재령이 작은 시점에 상부 층의 시공하중을 부담하여야 하므로 중공 슬래브의 자중 감소 및 유효단면 2차모멘트 감소 완화 효과가 더 크게 작용할 수 있다. 다만 시공주기의 변화가 중공 슬래브의 처짐 감소에 미치는 영향은 적다.

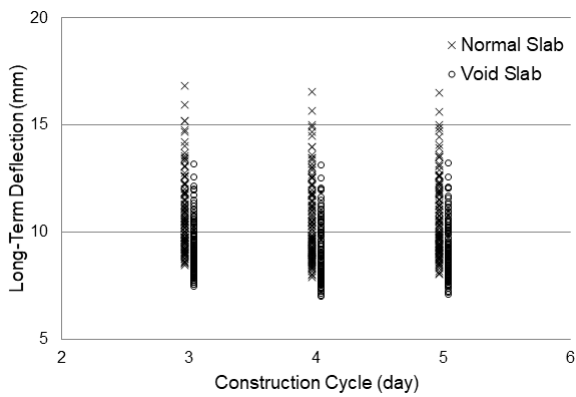


(a) Comparisons of slab deflections

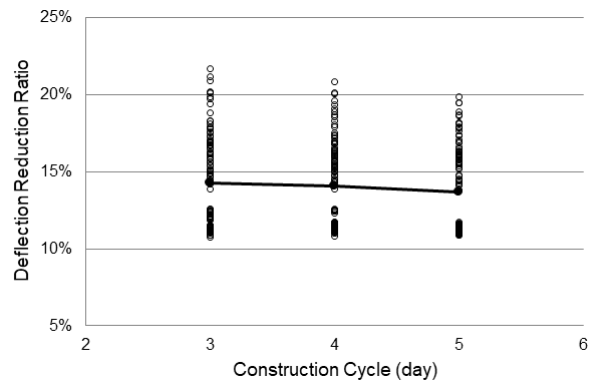


(b) Deflection reduction of void slab to normal slab

Fig. 4 Effect of concrete strength on slab deflections

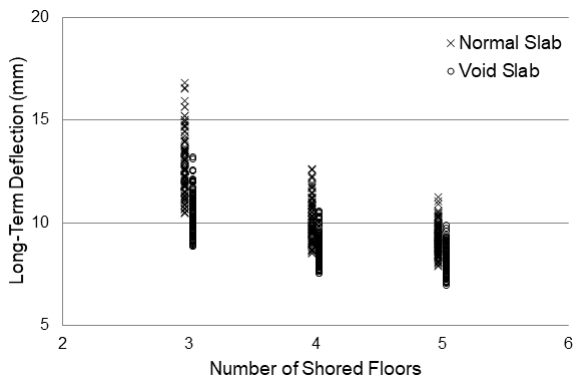


(a) Comparisons of slab deflections

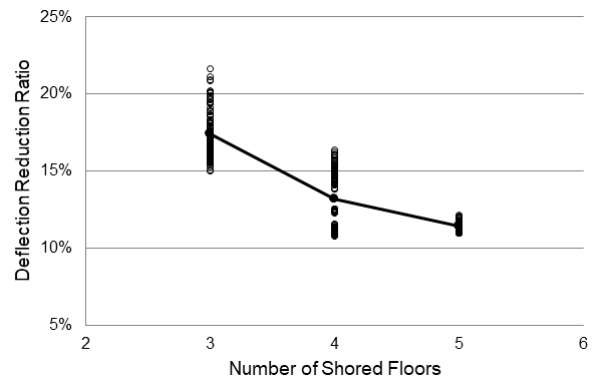


(b) Deflection reduction of void slab to normal slab

Fig. 5 Effect of Construction Cycle on Slab Deflections



(a) Comparisons of slab deflections



(b) Deflection reduction of void slab to normal slab

Fig. 6 Effect of number of shored floors on slab deflections

3) 동바리 지지층수에 대한 영향

Fig. 6은 장기처짐 해석 결과를 동바리 지지층수로 구분하여 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐 변화를 분석한 결과이다.

동바리 지지층수가 적을수록 슬래브 처짐은 크게 발생하였으며, 이는 일반 슬래브와 중공 슬래브에서 모두 확연하게 관찰할 수 있는 사실이다. 동바리 지지층수가 적은 경우, 타설 후 재령이 크지 않은 콘크리트가 부담해야 하는 시공하중이 크기 때문에 조기 균열손상 증가 및 유효단면 2차모멘트의 감소가 현저히 발생하므로 슬래브 처짐이 증가하는 것이다. 따라서, 중공 슬래브의 자중 감소의 효과가 가장 크게 발휘될 수 있는 경우가 동바리 지지층수가 적은 조건이라고 할 수 있으며, 슬래브 처짐 감소 비율에 대한 분석 결과(Fig. 6b)에서도 이를 분명하게 확인할 수 있다. 동바리 지지층수가 3개 층인 경우에 중공 슬래브에 의한 처짐 감소 비율의 평균값은 17.4%로서, 이 연구에서 분석한 변수조건들 중에서 가장 높은 감소 비율을 보였다.

이러한 처짐 감소 비율은 동바리 지지층수가 증가함에 따라 급격하게 감소하게 됨을 확인할 수 있다. 동바리 지지층수가 증가할수록 시공하중도 감소하고, 최대 시공하중이 작용하는

시점의 슬래브 콘크리트 재령도 증가하여, 시공하중에 의한 슬래브 균열손상 및 단면강성 저하 현상이 감소하였기 때문이며, 이는 중공슬래브의 자중감소에 의한 처짐 감소 효과도 감소 시키게 되었다.

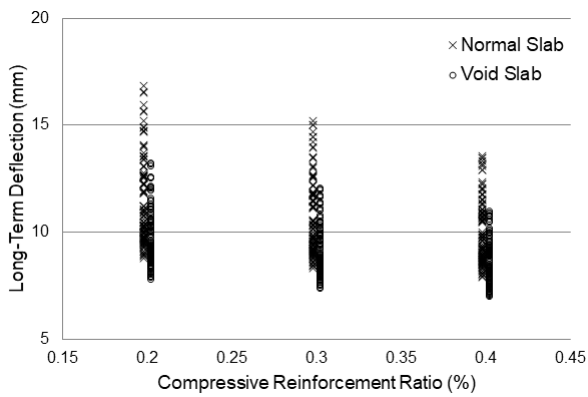
4) 압축철근비에 대한 영향

Fig. 7은 장기처짐 해석 결과를 압축철근비로 구분하여 분석한 결과이다. 압축철근의 증가는 유효단면 2차모멘트 증가에 기여할 수 있으며, 장기처짐식에서의 시간경과계수를 감소시켜 장기적인 처짐 증가량을 감소시키게 된다. 이에 따라, Fig. 7(a)와 같이, 압축철근비의 증가에 따라 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐이 각각 감소한 것을 확인할 수 있다.

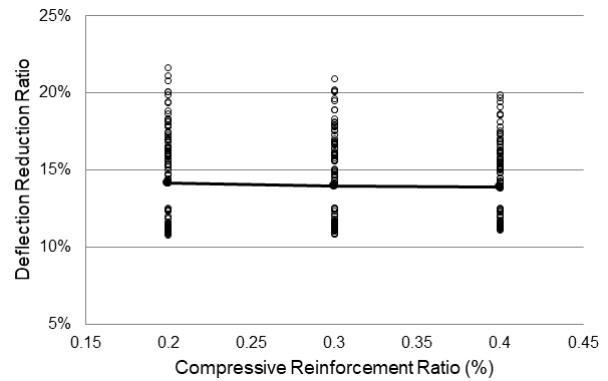
그러나 압축철근은 시공하중의 변화가 발생하는 시공단계 보다는 주로 사용단계에서의 장기적인 처짐에 대한 영향이 크기 때문에, 중공 슬래브 적용에 따른 자중 감소에 의한 처짐 감소 효과는 크지 않다(Fig. 7b).

5) 인장철근비에 대한 영향

Fig. 8은 장기처짐 해석 결과를 인장철근비로 구분하여

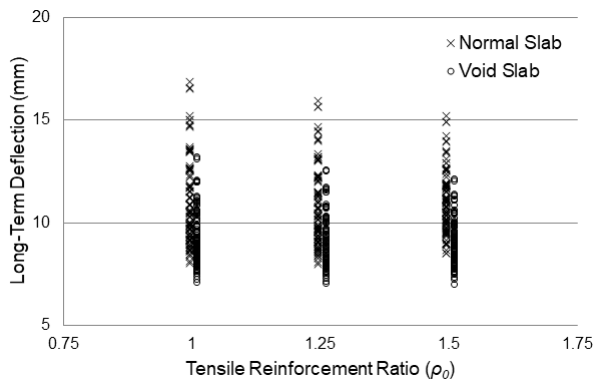


(a) Comparisons of slab deflections

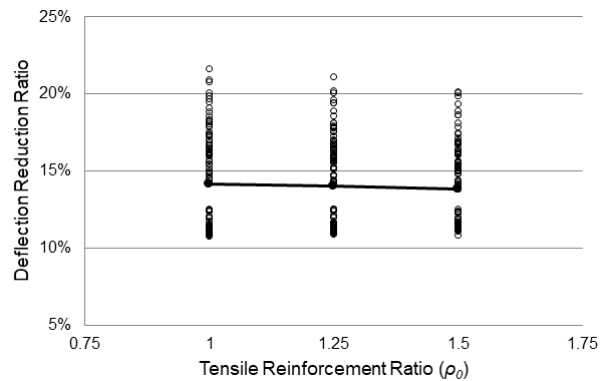


(b) Deflection reduction of void slab to normal slab

Fig. 7 Effect of compressive reinforcement on slab deflections



(a) Comparisons of slab deflections



(b) Deflection reduction of void slab to normal slab

Fig. 8 Effect of tensile reinforcement on slab deflections

분석한 결과이다. Table 1에서 주열대와 중간대로 구분하여 제시된 인장철근비를 기본모델(ρ_0)로 하고, 인장철근비를 1.25배와 1.5배 증가시킨 모델을 각각 $1.25\rho_0$ 와 $1.5\rho_0$ 로 적용한 변수조건이다.

인장철근비가 증가하면 균열단면의 유효단면 2차모멘트가 증가하므로 처짐이 감소하게 된다. Fig. 8(b)와 같이, 인장철근비의 증가에 따라 일반 슬래브와 중공 슬래브의 처짐이 각각 감소한 것을 확인할 수 있다. 그러나, 처짐에 대한 인장철근비 변화의 영향이 크지 않았고, 중공 슬래브 적용에 따른 처짐 감소 효과도 인장철근비 변화에 따라 큰 변화를 보이지 않았다 (Fig. 7b).

4. 결 론

이 연구에서는 플랫 플레이트의 처짐에 대한 중공 슬래브의 영향에 대하여 분석하기 위하여 일반 슬래브와 중공 슬래브를 대상으로 콘크리트강도, 압축철근비, 인장철근비의 3가지 설계조건과 동바리 지지 층 수, 층당 시공주기의 2가지 시공조건에 대하여 변수연구를 수행하였다. 시공효과 및 콘크리트

균열과 장기처짐 효과를 포함하여 중공슬래브와 기본형 슬래브 장단기 처짐을 산정하였다. 이를 바탕으로, 동일 변수조건에서의 일반 슬래브의 처짐값과 중공 슬래브의 처짐값의 비교를 통해 중공 슬래브의 처짐 감소 효과를 분석하였다.

중공 슬래브의 자중 감소에 따라 모든 변수조건들에서 장단기 처짐의 감소를 명확히 확인할 수 있었으며, 특히 슬래브 콘크리트의 조기 재령에서 과하중이 작용하여 균열 손상 및 유효 단면 2차모멘트의 감소가 크게 발생하는 경우에 중공 슬래브 적용에 따른 처짐 감소 효과가 크다는 것을 확인하였다. 이 연구의 변수조건들 중에서 중공 슬래브의 처짐 제어 효과에 가장 많은 영향을 주는 것은 동바리 지지층수로 나타났고, 콘크리트 강도도 비교적 큰 영향을 주었다. 동바리 지지층수가 적고 콘크리트 강도가 작은 경우에 중공 슬래브 적용에 따른 처짐 감소 효과를 크게 얻을 수 있었다. 하지만 시공주기, 압축철근비, 인장철근비는 변수 조건의 변화에 따른 처짐 감소 효과에 의한 변화가 거의 없는 것으로 분석되었다.

이 연구에서 분석한 설계 및 시공조건에 따른 중공 슬래브의 처짐 저감 효과를 바탕으로, 중공 슬래브의 보다 정밀한 처짐 및 사용성능을 분석하기 위해서 중공 슬래브의 실제 제작 및

시공 조건을 고려한 추가 연구가 필요하다. 일반적으로 뿔뿔 전단 등으로 인해 기둥 주변에는 중공부를 설치하지 않으므로, 슬래브에서 중공부가 포함되는 영역을 고려하여 단면 강성을 산정할 필요가 있다. 또한, 중공률의 정확한 산정을 통해 중공 슬래브의 자중 저감 효과를 정밀하게 적용할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.

References

- Choi, S.M., Eom, T.S., Kim, J.Y.** (2012) Parametric Study on Long-Term Deflections of Flat Plates Considering Effects of Construction Loads and Cracking, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 16(1), pp.44~54.
- Chung, J.H., Choi, H.K., Lee, S.C., Choi, C.S.** (2014a) Flexural Strength and Stiffness of Biaxial Hollow Slab with Donut Type Hollow Sphere, *J. Archi. Inst. Korea (Structure)*, 30(5), pp.3~11.
- Chung, J.H., Yoon, J.R., Lee, S.C., Choi, C.S.** (2014b) Experimental Study on Punching Shear Strength and Failure Behaviour of Donut Type Biaxial Hollow Slab, *J. Archi. Inst. Korea (Structure)*, 30(4), pp.11~18.
- Gardner, N.J., Fu, H.C.** (1987) Effects of High Construction Loads on the Long-Term Deflections of Flats Slabs, *ACI Struct. J.*, 84(3), pp.349~360.
- Hwang, H.J., Park, H.G., Hong, G.H., Im, J.H., Kim, J.Y.** (2010) Effects of Shore Stiffness and Concrete Cracking on Slab Construction Load I: Theory, *J. Korea Concr. Inst.*, 22(1), pp.41~50.
- Kang, S.M., Eom, T.S., Kim, J.Y.** (2013) Reshoring Effects on Deflections of Multi-Shored Flat Plate Systems under Construction, *Struct. Engi. & Mech.*, 45(4), pp.455~470.
- Kang, S.M., Kim, J.W., Choi, K.K., Park, H.G.** (2016) Shear Behavior Investigation of Biaxial Hollow Slabs Through Non-linear FE Analysis, *J. Archi. Inst. Korea (Structure)*, 32(12), pp.3~13.
- KCI** (2012) Concrete Structure Code, Korea Concrete Institute, pp.523.
- Kim, G.C., Seok, K.Y., Kang, J.W.** (2013) Evaluation of Flexural Performance of One-Way Voided Slabs, *J. Archi. Inst. Korea (Structure)*, 29(8), pp.11~18.
- Kim, H.S., Lim, J.H., Kang, J.W.** (2012) A Study on the Calculation Method for Flexural Strength of One-Way Hollow Slabs, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 25(6), pp.541~548.
- Kim, J.Y.** (2009) Applications of Practical Analysis Scheme for Evaluating Effects of Over-Loads during Construction on Deflections of Flat Plate System, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 22(1), pp.25~34
- Kim, J.Y., Park, S.B.** (2016) Analysis of an Effects of Reshoring Works on Short and Long Term Deflections of Flat Plates, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 21(1), pp.40~48.
- Kim, S.M., Jang, T.Y., Kim, S.S.** (2009) Structural Performance Tests of Two-way Void Slabs, *J. Archi. Inst. Korea (Structure)*, 25(8), pp.35~42.
- Ministry of Construction & Transportation** (2001) Guidelines for Design and Construction of Bridge Considering Maintenance, pp.16~18.
- Vollum, R.L., Moss, R.M., Hossain, T.R.** (2002) Slab Deflection in the Cardington In-Situ Concrete Frame Building, *Mag. Concr. Res.*, 54(1), pp.23~34.

요 지

RC 플랫 플레이트 시스템은 공기단축, 시공성 향상, 층고 절감 등의 장점이 있으나, 장스팬 적용 시 슬래브의 작은 휨강성으로 인해 균열 손상 및 과다 처짐이 발생하는 경향이 있다. 특히, 시공 중 슬래브 자중에 의한 과하중의 작용이 슬래브의 장단기 처짐을 증가시킬 수 있다. 이러한 문제점은 자중 저감이라는 장점을 갖고 있는 중공 슬래브의 사용을 통해 해결할 수 있다. 이 연구에서는 슬래브 처짐에 대한 중공 슬래브의 자중저감 효과를 분석하기 위하여 변수연구를 수행한다. 콘크리트 강도, 슬래브 시공주기, 동바리 지지층수, 압축철근비, 인장철근비 등의 변수조건들을 포함하여, 시공단계, 콘크리트 균열, 장기 효과를 고려한 시공하중 및 처짐을 산정한다. 일반 슬래브와 중공 슬래브에 대한 시공 중 단기처짐과 완공 후 장기처짐을 비교하고, 슬래브 처짐에 대한 중공 슬래브의 효과를 분석한다.

핵심용어 : 플랫 플레이트, 중공 슬래브, 장기처짐, 단기처짐, 시공하중