

중공율과 감쇠율을 이용한 RC 중공 슬래브의 사용성 및 휨성능 평가

Evaluation of Serviceability and Flexural Performance for RC Hollow Slab by Hollow Ratio and Damping Ratio

김중훈¹ · 김동백^{2*} · 김용곤³ · 이재원⁴ · 최정호⁵Jong Hoon Kim¹, Dong Baek Kim^{2*}, Yong Gon Kim³, Jae Won Lee⁴, Jeong Ho Choi⁵¹Ph D Course, Construction Engineering Research Institute / Department of Civil & Environment Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea²Director, Daewon Construction Technology Research Institute, Gunpo, Republic of Korea³Professor, Construction Engineering Research Institute / Department of Social & Safety Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea⁴Ph D Course, Construction Engineering Research Institute / Department of Civil & Environment Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea⁵Professor, Construction Engineering Research Institute / Department of Civil & Environment Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea

*Corresponding author: Dong Baek Kim, dbkim@hknu.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the stiffness reduction and damping ratio of reinforced concrete hollow slabs and to analyze their performance, and to study the effect of the damping effect of hollow bodies and the stiffness reduction on the serviceability of slabs. **Method:** Test specimen was made in a size of 0.6m*0.21m*3.6m to evaluate the vibration effect of the slab, and the hollow ratio was set in six steps from 0.0% to 30% to measure the change in rigidity and damping according to the change in the hollow ratio. **Result:** As the hollow ratio increases, rigidity decreases and the natural frequency decreases, but as the mass decreases, the natural frequency increases gradually. Since energy is hardly dissipated up to the hollow ratio of 20%, the hollow ratio should be reduced by 30%. **Conclusion:** It was found that the bending strength degradation of the slab with a hollow ratio of about 30% is minimized, but an appropriate natural frequency can be maintained, and a certain damping effect can be obtained.

Keywords: Hollow Ratio, Damping Ratio, Serviceability, Natural Frequency, Damping Effect

Received | 9 December, 2022

Revised | 20 December, 2022

Accepted | 22 December, 2022

 OPEN ACCESS


This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

요약

연구목적: 철근콘크리트 중공 슬래브의 중공율에 따른 강성저하 및 감쇠율을 평가하여 그 성능을 분석하고, 중공체의 감쇠 효과와 중공율에 따른 강성저하가 슬래브의 사용성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하고자 한다. **연구방법:** 슬래브의 중공율에 따른 진동영향을 평가하기 위하여 0.6m*0.21m*3.6m의 크기로 시험체를 제작하였으며, 중공율의 변화에 따른 강성과 감쇠의 변화율을 측정하기 위하여 중공율은 0.0%~30%까지 6단계로 설정하였다. **연구결과:** 중공율이 증가하면 강성이 감소되므로 고유진동수도 감소하는 것으로 생각할 수 있으나 질량이 크게 감소하므로 고유진동수는 점진적으로 증가하며, 중공율 20%까지는 에너지 소산이 거의 일어나지 않으므로 층간소음 및 진동을 저감하기 위해서는 30% 정도의 중공율을 확보해야 한다. **결론:** 중공율 이 30% 정도인 슬래브의 휨성능의 저하는 최소로 하되 적절한 고유진동수를 유지할 수 있으며, 어느 정도의 감쇠증진 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어: 중공율, 감쇠율, 사용성, 고유진동수, 감쇠증진 효과

서론

공동주택에서 층간의 진동과 소음을 저감시키는 공법은 근래에 와서 매우 중요한 사항이며, 중공슬래브를 공동주택에 적용하여 층간 소음과 진동을 줄이고 부재의 휨 성능 등과 같은 역학적인 성능의 저하가 없는 중공율을 찾는다면(Hur et al., 2017), 시멘트 산업은 이산화탄소 고배출 산업인 점을 감안할 때, 환경적으로도 매우 바람직한 일이다. 현재 공동주택의 슬래브는 20cm 이상의 두꺼운 부재로 시공하고 있으나(Choi et al., 2015), 이는 구조적인 안전성을 위한 것이 아니고 층간소음 및 진동을 저감하기 위한 방편이다(Kang et al., 2011). 따라서 기존시스템보다 약 80% 이상 콘크리트가 과다 투입되고 있어 공사비 상승 및 온실가스 과다배출로 이어지고 있으므로 역학적으로 안전한 중공슬래브를 제작할 수 있는 방법이 필요하다(Han et al., 2004).

본 연구에서는 층간소음 및 진동의 저감과 콘크리트 사용량의 저감을 위한 공통의 목표를 달성하기 위하여 콘크리트를 저감할 수 있는 중공슬래브에 대하여 중공율을 6단계로 정하고 중공율의 변화에 따른 강성감소 및 감쇠의 변화를 평가하여 그 성능을 분석하고자 한다.

연구내용 및 방법

중공율에 따른 중공슬래브의 성능검토를 위하여 사용성 검토와 구조성능 검토를 위한 실험을 수행하였다. 실제 공동주택에 적용되는 슬래브 시험체를 제작한 후, 사용성검토를 수행하여 중공율이 상승함에 따라 고유진동수 및 감쇠성능을 우선 확인하여 사용성이 적합한지 확인하고, 구조성능 검토를 통하여 구조체로서 적합한 지를 검토한다.

중공슬래브의 중공률에 따른 진동영향을 실험을 통해 평가하기 위하여 시험체를 제작하였으며, 실험의 편의를 위하여 0.6m×0.21m×3.6m(b*h*L)의 크기로 시험체를 제작하였다. 중공율을 증가시킴에 따라 휨강성과 감쇠율의 변화를 측정하기 위하여 중공율은 0.0%~30%까지 6단계로 나누어 변수를 설정하였으며, 중공체를 고려한 실제 중공율은 Table 1에 나타난 바와 같이 각각 10.8%, 14.4%, 19.7%, 24.7%, 32.4%까지 총 6개의 시험체를 제작하였다.

Table 1. Variables of test

Specimen No.	Designed Hollow Ratio	Hollow Ratio
1	0.0	0.0
2	10	10.8
3	15	14.4
4	20	19.7
5	25	24.7
6	30	32.4

시험체의 제작

배합설계

사용한 보통시멘트는 비중 3.14, MgO 4.8%, SO₃ 3.4%, 강열감량 2.7%, 분말도 3,300인 1종 시멘트를 사용하였으며, 잔 골재는 조립률은 2.68의 해사를 세척하여 사용하였으며 굵은 골재는 쇄석을 사용하였다.

배합은 고강도인 압축강도 $24MPa$ 를 기준으로 설계하였으며, 굵은골재의 최대치수는 $25mm$, 단위중량 $2,400kg/m^3$, 잔골재율 46.91% , W/G 45% , 콘크리트 $1m^3$ 를 기준으로 할 때 물 $170kg$, 시멘트 $330kg$, 모래 $880kg$, 자갈 $995kg$ 을 혼합했으며, fly ash의 량 $1.64kg$ 을 포함하여 혼화제의 양은 $3.44kg$ 이고, 감수제는 사용하지 않았다(Table 2).

Table 2. Mix table for $24MPa$ of f_{28}

Design Strength (MPa)	Slump Flow (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Ingredients (kg)				Admixture (kg)	
				W	C	S	G	Silica Fume	Fly Ash
24	600	45	46.91	170	330	880	995	1.80	1.64

배근 및 시험체의 제작

시험체에 사용된 철근은 SD400인 D10, D13, D16 철근을 사용하였다. KS B 0802에 따라 철근의 기본 물성실험을 실시하였으며, 사용철근의 개략적인 항복강도는 $450MPa$, 인장강도는 $655MPa$, 연신율은 28.9% 로 나타났다. 각각의 시험체는 중공율을 확보하기 위하여 PVC파이프를 사용하여 1방향 슬래브로 제작하였다.

배근은 공동주택 슬래브의 하중조건을 고려하여 거실 및 침실 하중을 적용하고 이를 기존 현장과 비교 및 검토한 후 배근하였다. 중공재의 배치는 가급적 대칭적으로 배근하였으며, 타설 시 중공재가 상승하는 것을 방지하기 위한 별도의 장치를

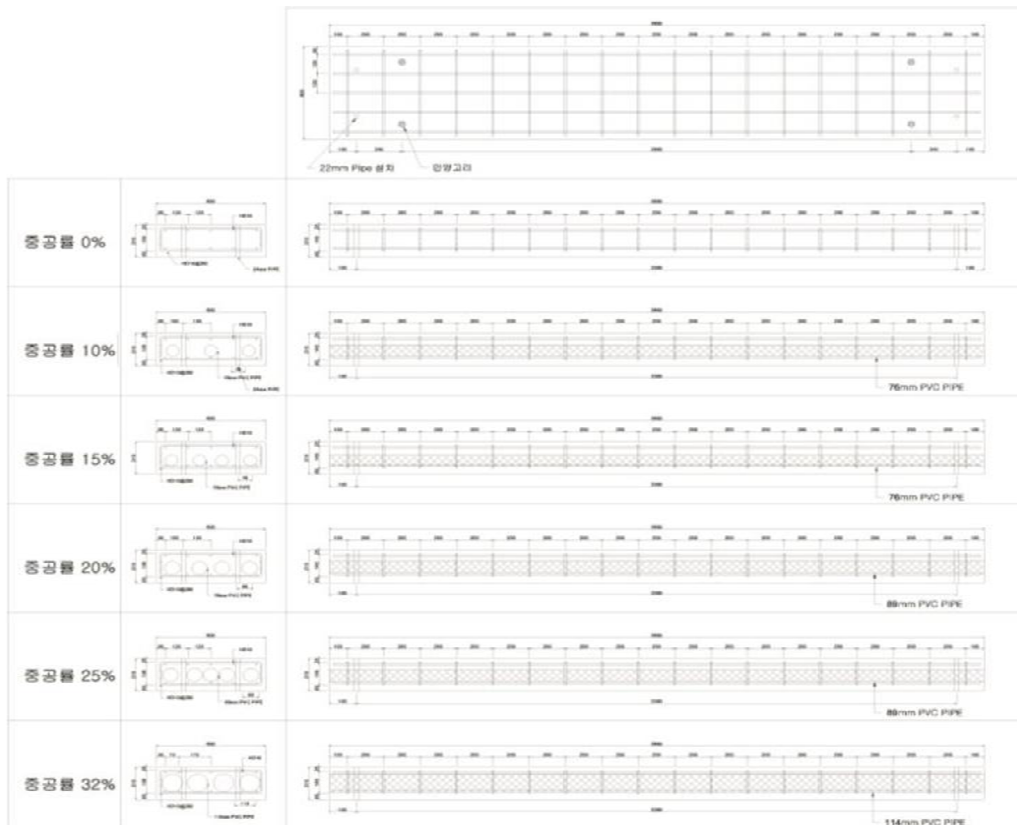


Fig. 1. Designed figure of specimens with hollow ratio

시공한 후 타설하였다. 각 변수별 중공율과 배근현황을 Fig. 1에 나타내었으며, 시험체는 거푸집의 하부 제작, 하부근의 배근, 중공재의 배치, 중공재의 고정, 상부근의 배근, 고정작업, 콘크리트 타설의 순으로 진행되었다(Fig. 2).



Fig. 2. Manufacturing process of specimens

사용성 평가시험

시험은 아래 Fig. 3의 (a)와 같이 시험체 중앙부에 중량체(30kg 모래주머니)를 자유낙하하여 가력하였고, Fig. 3의 (b)와 같이 3개의 가속도계를 이용하여 초당 60개의 데이터를 받아 결과를 측정하였으며, 각 시험을 3차례 반복하여 실시하였다. 본 시험은 동적데이터를 측정하는 것이므로 시험 시 입력하중에 노이즈가 있으면 결과를 왜곡시킬 수 있으므로 주변의 여타 관련요소를 제거하였으며, 시험체는 하부 스트롱 플로어에 완전 고정된 후 시험을 진행하였다.

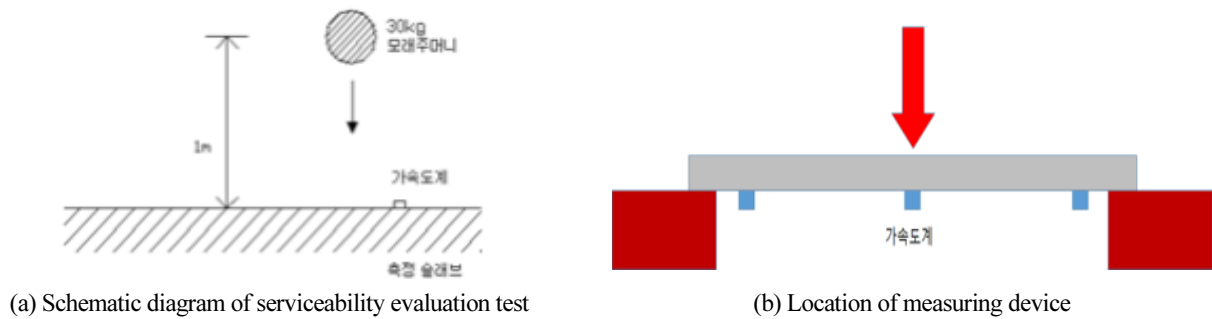


Fig. 3. Impact vibration test with sand pouch

휨성능 시험

휨성능 시험은 사용성 평가가 종료된 시험체를 이용하여 중공율에 따른 슬래브 부재의 구조성능을 검토하였다. 이를 위하여 지점거리 3m에 2점 가력을 수행하여 슬래브의 휨 성능을 실시하였으며, 본 시험에 사용된 만능시험기의 최대용량은 2,000kN이고, 로드 셀은 최대용량 5,000kN, LVDT는 용량 50mm 및 용량 200mm를 사용하였다.

시험체는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 2000kN용량의 UTM에 2점 가력을 수행할 수 있도록 단순보와 같은 지지조건으로 설치하였으며, 변위는 50 mm와 200mm의 LVDT를 설치하여 데이터를 측정하였다.

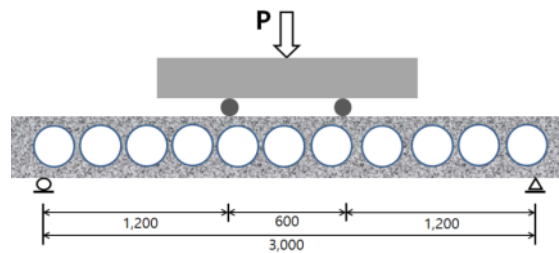


Fig. 4. Set-up of test specimen

실험결과의 분석 및 고찰

고유 진동수와 감쇠율 검토

6개의 시험체에 대하여 각각 자유낙하실험으로 고유 진동수와 감쇠율을 측정된 결과, 중공율 0%인 시험체는 24.8Hz와 1.10%, 중공율 10%인 시험체는 26.4Hz와 1.11%, 중공율 15%인 시험체는 26.4Hz와 1.08%, 중공율 20%인 시험체는 27.2Hz와 1.09%, 중공율 25%인 시험체는 28.0Hz와 1.25%, 중공율 30%인 시험체는 28.8Hz와 1.86%로 나타났으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Natural frequency and damping ratio of specimens

Specimen	Natural Frequency (Hz)	Damping Ratio (%)
0%	24.8	1.10
10%	26.4	1.11
15%	26.4	1.08
20%	27.2	1.09
25%	28.0	1.25
30%	28.8	1.86

휨성능 검토

6개의 시험체에 대하여 각각 2점가력 휨성능시험을 수행하여 초기균열 및 하중, 최대균열 및 하중 등과 파괴양상을 측정된 결과, 중공율 0%인 시험체는 초기균열은 하중 4.27tf일 때 발생하였으며, 변위는 24.6mm이고, 최대하중이 8.28tf일 때 최대변위는 11.24mm이다. 중공율 10%인 시험체는 초기균열은 변위 1.84mm, 하중 2.92tf일 때 발생하였으며, 변위가 11.19mm일 때의 최대하중은 7.96tf이다. 중공율 15%인 시험체는 초기균열은 변위 2.26mm, 하중 2.97tf일 때 발생하였으며, 변위가 11.16mm일 때의 최대하중은 7.35tf이다. 중공율 20%인 시험체는 초기균열은 변위 1.84mm, 하중 2.92tf일 때 발생하였으며, 변위가 11.43mm일 때의 최대하중은 7.55tf이다, 중공율 25%인 시험체는 초기균열은 변위 2.90mm, 하중 3.38tf일 때 발생하였으며, 변위가 11.61mm일 때의 최대하중은 7.05tf이다, 중공율 30%인 시험체는 초기균열은 변위 1.42mm, 하중 2.08tf일 때 발생하였으며, 변위가 11.06mm일 때의 최대하중은 5.97tf이다.

결론

중공율을 6단계로 한 RC 슬래브의 충격 가진시험과 휨성능 시험을 수행하여 중공율에 따른 감쇠율과 사용성 및 구조성능을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 중공율이 증가함에 따라 각 시험체의 고유진동수는 점진적으로 증가하는 형태로 나타났는데, 중공율이 증가함에 따라 강성이 감소되므로 고유진동수도 감소해야 하는 것으로 생각될 수 있으나, 중공율이 증가하면 질량이 감소하게 되므로 고유진동수는 오히려 점진적으로 증가하는 것으로 나타난다.
- (2) 중공율이 증가함에 따라 진동하중에 의한 감쇠율이 증가되는 것으로 나타났으나, 중공율 20%까지는 크게 에너지 소산이 일어나지 않아 감쇠율의 증가는 크지 않았다. 따라서 중공슬래브에 의한 층간소음을 저감하기 위해서는 25% 이상의 중공율을 확보해야 할 것으로 사료된다.
- (3) 중공율이 증가함에도 불구하고 중공율 20%까지는 휨성능의 손실은 거의 없는 것으로 판단되며, 중공율 25%부터 휨성능이 감소하고 30%일 경우 휨성능의 손실이 큰 것으로 나타났지만, 중공부를 최대한 중립축 하단에 배치하면 휨성능의 저하가 크지 않을 것으로 사료된다.
- (4) 중공율 30%정도인 RC 슬래브의 중공부를 중립축 이하로 설정하여 휨성능의 저하를 최소한으로 할 때, 적절한 고유진동수를 유지할 수 있고 감쇠율 증진효과도 얻을 수 있는데, 중공율이 커진다는 것은 질량의 감소를 의미하는 것이므로 중공슬래브는 감쇠율 증진 효과 외에도 탄소배출량을 줄이는 측면도 고려할 사항이다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2018R1D1A1B07047803)이며 이에 감사드립니다.

References

- [1] Choi, H.M., Park, T.W., Paik, I.K., Kim, J.S., Han, J.Y. (2015). "Shear performance of board-type two-way voided slab." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 27, No. 6, pp. 651-659.
- [2] Han, S.H., Lee, M.K. (2004). "Evaluation of vertical vibration performance of apartment floor." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 16, No. 2, pp. 221-228.
- [3] Hur, M.W., Yoon, J.H., Hwang, K.S., Youn, S.H., Park, T.W. (2017). "Evaluation of local Bearing strength of hollow core slab." *KCI, Spring 2017 Convention*, pp. 101-102.
- [4] Kang, J.Y., Kim, H.G., Joo, E.H., Kim, S.M., Kim, H.S., Shin, Y.S. (2011). "Experimental Studies on the effect of construction methods on shear strength of hollow core slab." *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 1, pp. 15-16.