포스트텐션 중공슬래브의 동적 특성

Dynamic Characteristic of Post-tensioned Void Slab

윤 성 원*
Yoon, Sung-Won

요 약

바닥슬래브의 처짐과 차음 성능을 개선하기 위하여 포스트텐션 중공슬래브가 최근에 자주 사용되고 있다. 동일한 8m 스패 1층구조물을, 한 구조물은 일반슬래브(solid slab)로, 다른 구조물은 중공슬래브(void slab)로 2개를 제작하여 각 구조물의 바닥슬래브에 포스트텐션을 도입하였다. 중공슬래브의 고유진동수와 감쇠율의 진동특성을 일반슬래브와 비교하였으며, 포스트텐션 도입 후에 일반슬래브와 중공슬래브 각각에 있어서 고유진동수와 감쇠율의 진동특성을 상호 비교하였다. 210mm의 일반슬래브 보다는 250mm 중공슬래브의 1차 고유진동수가 큰 것을 알 수 있다. 포스트텐션 도입 후에도 중공슬래브의 1차 고유진동수는 일반슬래브 보다 큰 것을 알 수 있다. 일반슬래브와 보이드슬래브의 감쇠율은 포스트텐션 도입 전과 도입 후에 거의 동일한 값을 보이는 것을 확인하였다.

Abstract

Post-tensioned void slab is frequently used for improving the deflection and sound proofing. Two one story 8m spanned structures were built. One structure applied post-tensioned solid slab, but the other did post-tensioned void slab. Dynamic characteristics, which is natural frequency and damping ratio, was compared between that of solid slab and void slab before and after post tension. The natural frequency of void slab was greater than that of solid slab before and after post tension. It was shown that damping ratio of solid slab and void slab was almost same at two stages.

키워드 : 중공슬래브, 동적 특성, 포스트 텐션, 플랫슬래브, 고유진동수

Keywords : void slab, dynamic characteristic, post tension, flat slab, natural frequencies

1. 서 론

최근 국내에서도 바닥충격음 개선을 위하여 슬래브의 차음 성능을 개선하려는 연구가 진행되고 있다. 이를 위하여 바닥슬래브의 두께를 증가시켜 해결할 수 있으나, 자중의 증가로 인하여 지진하중이 증가하는 단점이 있다. 특히 최근에는 장스팬이 사무소 공간뿐만 아니라 거주용도에도 적용되면서 슬래브의 진동문제가 많이 발생하고 있다.^{3), 4)}

이러한 장스팬 거주용도의 바닥슬래브 시스템으로서 최근에 스패 8.0m의 플랫슬래브(flat slab) 시스

템에 중공슬래브의 적용이 시도되고 있다.

이러한 중공슬래브는 장스팬의 처짐을 감소하기 위하여 현장에서 포스트텐션을 적용하여 장스팬 구조시스템이 적용되고 있다. 이 경우에 슬래브 내에 중공층을 형성하여 슬래브의 자중을 줄이면서 처짐과 진동성능을 개선할 수 있다.^{1), 2)}

중공슬래브에 대한 국내의 연구로서 2009년 김태호¹⁾는 바닥슬래브의 설계기준강도, 슬래브두께, 중공슬래브를 변수로 하여 진동저감방안을 검토하였다. 연구소에 중공슬래브를 실제로 적용하고 진동계측을 실시하여 발뒤꿈치 충격을 이용하여 동적특성을 파악하고, 제자리 뛰하중을 이용하여 중공슬래브의 사용성평가를 하였다. 2010년 김현수²⁾는 2방향 중공슬래브의 진동성능에 대하여 보행하중을 적용

* 정희원, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사
Tel: 02-970-6587
E-mail : swyoon@seoultech.ac.kr

한 진동해석과 진동성능평가를 수행하여 36%의 중공률의 우수성과 중공슬래브의 보행하중에 대한 사용성평가를 하였다.

그러나 아직까지 포스트텐션 중공슬래브의 동적 특성에 대한 연구는 상대적으로 미진한 상태이다. 따라서 이 논문에서는 동일한 8m 스패 1층 구조물을, 한 구조물은 일반슬래브(solid slab)로, 다른 구조물은 중공슬래브(void slab)로 2개의 구조물을 제작하였다. 또한 포스트텐션의 동적특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 구조물의 바닥슬래브에 포스트텐션을 도입하였다. 따라서 중공슬래브의 1차 고유진동수(이하 고유진동수라 함)와 감쇠율의 동적특성을 일반슬래브와 비교하였으며, 포스트텐션 도입 후에 일반슬래브와 중공슬래브 각각에 있어서 고유진동수와 감쇠율의 진동특성을 상호 비교하여 플랫폼슬래브 시스템에 적용된 중공슬래브의 동적특성을 검토하였다. 다만 보행시의 사용성평가는 구조물에 내외부 마감 없이, 1스팬 구조물이므로 사용성평가를 할 수 없는 관계로 사용성평가는 실험시 제외하였다.

2. 실험체 개요

일반슬래브와 보이드 슬래브는 전부 8m 스패으로, 일반슬래브의 두께는 210 mm, 보이드슬래브의 두께는 250 mm로 제작하였다. 일반슬래브의 두께를 210 mm, 보이드슬래브의 두께를 250 mm로 제작한 이유는 바닥충격음의 제한을 만족시키기 위하여 최근에 많이 사용되는 바닥슬래브의 두께를 고려하여 사용하였다. 포스트텐션을 주기위한 텐돈의 간격은 일반슬래브는 80cm, 보이드슬래브는 90cm로 구성하였다.

〈그림 1〉은 포스트텐션 일반슬래브와 중공슬래브의 평면도와 단면도이다.

- 대상구조물: 1층 PS 구조물
- 크 기 : 9.0m × 9.0m 1bay(8m span)
- 바닥구조 : 일반 슬래브 1 EA, PS 중공슬래브 1 EA

a) 포스트텐션 일반슬래브

b) 포스트텐션 중공슬래브

〈그림 1〉 바닥진동 실험 대상구조물

3. 진동계측

3.1 실험방법

실험방법은 자유진동을 얻기 위하여 발뒤꿈치로 충격하중을 주는 Heel Impulse^{3),4)}을 통하여 구조물의 고유진동수와 감쇠율을 평가하였다. 실험 수행 시기는 슬래브의 콘크리트 타설 후 28일 이후에 실시하였다. Heel Impulse는 골조공사가 완료된 시점에서 포스트텐션 도입 전후에 각각 두 차례 실시하였다. <그림 2>는 Heel Impulse 가진점과 가진 위치이다. 가력 및 계측 위치는 구조물의 바닥 특성을 대표할 수 있는 위치를 선정하였다. 고유진동수 분석을 위한 Heel Impulse는 계측점(C1,C2 ■)으로부터 30cm 이내에서 가진하였다.

<그림 2> 바닥진동 실험 가력 및 계측위치

<그림 3> 바닥진동 평가 실험

3.2 장비구성

<표 2> 가진원의 종류 및 실험 목적

	항목	사양
ICP 가속도계 (Dytran 3191 A)	capacity	$\pm 1g$
	output voltage	$\pm 5V$
	volt sensitivity	5,000 mV/g
	transverse sensitivity	4.2%
DYNAMIC ANALYSER (Signalcalc Mobilyzer)	channel	4
	filter	90db
	acquisition	5 Hz ~ 80 kHz
메트로놈 (SQ 100-77)	30~250 times/min	30~250 times/min

4. 실험결과 해석

4.1 고유진동수

Heel Impulse의 가진시 계측조건은 160Hz의 sampling rate로 25.6초간 바닥판의 반응을 계측하였다. 그 결과를 이용하여 시계열파형과 파워스펙트럼에서 고유진동수를 산정하였고, 두 방법 간의 차이는 고유진동수 값의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. 따라서 파워스펙트럼에서 산정된 고유진동수를 기준으로 비교하였다. <표 3>은 포스트텐션

전후의 일반슬래브와 중공슬래브의 고유진동수를 파워스펙트럼과 자유진동에서 산정한 값을 정리한 것이다.

일반슬래브는 포스트텐션 도입 후에 5.960 Hz에서 6.258Hz로 고유진동수가 5.0 % 증가하였다. 그러나 중공 슬래브는 포스트텐션 도입 후에 7.788 Hz에서 7.570 Hz로 고유진동수가 2.8% 약간 감소하였다. 이와 같이 일반슬래브에서는 포스트텐션 도입 후에 고유진동수가 증가하였지만, 중공슬래브에서는 비교적 작은 값이지만 고유진동수가 감소한 이유는 중공슬래브의 PS 텐돈 주변의 콘크리트 부분이 비교적 적게 피복하고 있는 부분에서 균열이 발생하였기 때문으로 추정된다.

또한 두께가 210mm인 일반슬래브보다는 250mm 중공슬래브의 고유진동수가 큰 것을 알 수 있다. 즉 포스트텐션 도입 전에는 일반슬래브가 5.960 Hz이지만 중공슬래브는 7.788 Hz로 중공슬래브의 고유진동수가 30.7% 큰 것을 알 수 있다. 이 이유는 중공슬래브의 중량 감소가 주요 원인이며, 일부는 중공 슬래브의 단면이차모멘트가 일반슬래브보다 약간 크기 때문에 강성의 증가가 고유진동수의 증가에 기여했다고 판단된다. 포스트텐션 도입 후에도 일반 슬래브보다는 중공슬래브의 고유진동수가 큰 것을 알 수 있다. 일반 슬래브가 6.258 Hz이지만 중공슬래브는 7.570 Hz로 중공슬래브의 고유진동수가 21.0% 큰 것을 알 수 있다.

여기서 포스트텐션 도입 전에는 중공슬래브의 고유진동수가 일반슬래브보다 30.7% 컸지만, Post tension 도입 후에는 중공슬래브가 일반슬래브보다 21.0% 밖에 크지 않은 이유는 포스트텐션 도입 과정에서 균열의 발생 등으로 인하여 중공슬래브의 강성이 감소하였기 때문인 것으로 추정된다. 이와 같이 중공슬래브는 일반 슬래브에 비하여 고유진동수가 포스트텐션 전후에 각각 30.7%, 21.0% 증가하였다.

〈표 3〉 실험대상 슬래브의 고유진동수

		고유진동수 (Hz)	
포스트 텐션 전	일반 슬래브	파워스펙트럼	5.960
		시계열파형	6.060
	중공 슬래브	파워스펙트럼	7.788
		시계열파형	7.746
포스트 텐션 후	PS 일반 슬래브	파워스펙트럼	6.258
		시계열파형	6.238
	PS 중공 슬래브	파워스펙트럼	7.570
		시계열파형	7.536

a) 일반 슬래브

b) 중공슬래브

〈그림 4〉 포스트텐션 전 파워스펙트럼

a) 일반 슬래브

a) 포스트텐션 일반슬래브

b) 중공슬래브

b) 포스트텐션 중공슬래브

<그림 5> 포스트텐션 전 자유진동파형

<그림 7> 포스트텐션 후 자유진동파형

a) 포스트텐션 일반슬래브

b) 포스트텐션 중공슬래브

<그림 6> 포스트텐션 후 파워스펙트럼

4.2 감쇠율

Heel Impulse^{5),6)}의 가진시 계측조건은 160Hz의 sampling rate로 25.6초간 바닥판의 반응을 계측하였다. 시계열파형에서 대수감소법⁶⁾⁻⁸⁾인 식 (1)로 감쇠율을 산정하였다.

$$\xi = \frac{\ln(A/B)}{2n\pi} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 A와 B는 진폭의 크기이며, n은 Cycle의 수이다. (<그림 8> 참조)

<그림 8> 감쇠율 산정방법 (대수감소법)

일반슬래브는 포스트텐션 후에 2.028%에서 2.097%로 감쇠율이 약 3.4% 증가함을 알 수 있었다. 그러나 중공 슬래브는 포스트텐션 후에 2.128%에서 2.088%로 감쇠율이 약 1.9% 감소한 사실을 확인할 수 있다. 그러나 이 정도의 증감은 감쇠율 평가의 오차범위로서 포스트텐션이 일반 슬래브와 중공슬래브의 감쇠율 증감에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

〈표 4〉 실험대상 슬래브의 감쇠율

	감쇠율 (%)	
	일반 슬래브	중공슬래브
포스트텐션 전	2.028	2.128
포스트텐션 후	2.097	2.088

a) 일반 슬래브

b) 중공슬래브

〈그림 9〉 포스트텐션 전 시계열파형

a) 일반 슬래브

b) 중공슬래브

〈그림 10〉 포스트텐션 후 시계열파형

5. 결론

중공슬래브의 동적 특성을 평가하기 위하여 포스트텐션 전과 후의 진동계측을 통하여 일반 슬래브와 중공슬래브의 고유진동수와 감쇠율의 동적특성을 분석하였다.

1) 210mm 두께의 일반 슬래브보다는 250mm 두께 중공슬래브의 고유진동수가 큰 것을 알 수 있다. 즉 포스트텐션 도입 전에는 일반 슬래브의 고유진동수가 5.960 Hz이지만 중공슬래브는 7.788 Hz로서 중공슬래브의 고유진동수가 30.7% 큰 것을 알 수 있다. 이 이유는 중공슬래브의 중량 감소가 주요 원인이며, 일부는 중공 슬래브의 단면이차모멘트가 일반슬래브보다 약간 크기 때문에 강성의 증가가 고유진동수의 증가에 기여했다고 판단된다. 포스트텐션 도입 후에도 일반 슬래브는 6.258 Hz이지만 중공슬래브는 7.570 Hz로서 중공슬래브의 고유진동수가 21.0% 큰 것을 알 수 있다.

2) 일반슬래브와 중공슬래브의 감쇠율은 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 또한 포스트텐션을 통한 감쇠율의 증가경향도 일반슬래브와 중공슬래브에서

확인하기 어려웠다. 포스트텐션 전에 일반 슬래브의 감쇠율이 2.028%로서 중공슬래브의 감쇠율 2.097%보다 약 3.4% 큰 것을 알 수 있으나, 감쇠율 평가의 오차범위를 감안하면 거의 동일한 값에 해당한다. 포스트텐션 도입 후에도 일반슬래브의 감쇠율이 2.097%로서 중공 슬래브의 감쇠율이 2.088%과 거의 동일한 값을 보이는 것을 알 수 있다.

Vol. 68, No. 10, pp.181-186, 1990.5

(접 수 일 자 : 2012년 07월 12일)

(심사완료일자 : 2012년 09월 10일)

(게재확정일자 : 2012년 09월 15일)

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김태호, 김옥중, 이도범, 박창희, “진동저감을 위한 중공슬래브의 적용”, 한국공간구조학회지, 제9권 4호, pp 5-10, 2009. 12
2. 김현수, “ 2방향 중공슬래브의 진동성능 검토, 한국공간구조학회지, 제10권 1호, pp 6-13, 2010. 3
3. 김기철, 강주원, 김현수, “개폐식 지붕구조의 움직임에 대한 공간구조물의 진동해석”, 한국공간구조학회논문집, 제11권 1호, pp 113-121, 2011. 3
4. 김기철, 강주원, “ 공간구조물의 진동제어를 위한 TMD의 최적설계”, 한국공간구조학회 논문집, 제11권 2호, pp 81-88, 2011. 6
5. RIST 강구조연구소, “강구조 바닥진동의 새로운 설계법”, 2009.10
6. 日本建築學會:建築物の振動に關する居住性能評價指針・同解説, 第1版, 1991.4
7. ISO, “Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part2 : Evaluation of Human Exposure to Whole-Body z-Axis Vertical Vibration in the Frequency Range 0.1 to 0.63 Hz”, ISO 2631-3, 1985
8. K. P. Osborne and B. R. Ellis, “Vibration Design and Testing of a Long-Span Lightweight Floor“, The Structural Engineer,