

합성데크플레이트의 진동환경예측을 위한 보행하중 제안

Walking Load Function for an Estimation of Floor Vibration of a Composite Deck Plate Slab

김희철* 최준호** 이영학*** 김대중****
 Kim, Hee-Cheul Choi, June-Ho Lee, Young-Hak Kim, De-Joong

Abstract

Most high rise buildings have been constructed with steel structure systems with metal deck floors and concrete topping. Since the mass of the metal deck floor system is relatively thinner than that of the concrete floor system and due to the larger span compared to other floor systems, vibration serviceability problems are frequently occurred. Most of vibration problems are induced by the movement of humans. A walking load function was proposed for the better estimation of composite deck floor vibration based on site measurements in this paper.

키워드 : 바닥진동, 데크 플레이트, 합성슬래브, 보행하중

Keywords : Floor Vibration, Deck Plate, Composite Slab, Walking Load Function

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 공간에 대한 수요의 증가와 시공기술의 발달로 인하여 초고층, 초대형 구조물이 증가함과 동시에 장스팬을 사용한 바닥구조가 증가하고 있다. 이러한 구조시스템은 경량화 됨에 따라 강성과 감쇠계수가 기존의 시스템에 비해 감소되는 이유로, 사람의 동작과 같은 동적 거동에 의해 발생하는 진동과 소음 등으로 인하여 사용성상의 문제점이 야기되고 있다.¹⁾ 특히 철골조에 사용되는 데크플레이트와 같은 합성바닥구조는 공기단축과 공사비 절감, 시공성 등의 장점에 반해 위와 같이 진동에 대한 취약점이 드러나고 있다. 이에 따라 동적해석을 통한 보완이 요구된다고 판단되며, 본 연구에서는 자유진동실험을 통해 바닥구조의 고유진동수를 측정하고 피실험자의 보행에 의해 발생하는 바닥구조의 응답을 측정한 후, 시간에 대한 동적하중을 추정하여 이를 이론식으로 발전시킴으로써, 바닥진동을 평가할 수 있는 하중 도구를 개발하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구범위 및 방법

바닥구조에 하중을 가하는 사람의 동작은 그 종류에 따라 다양한 형태의 하중을 발생시키고, 동작이 지속적인지 아닌지에 따라 주기함수 또는 비주기함수로 표현될 수 있다. 모든 동작을 동시에 고려하기에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 가장 보

편적으로 발생하는 사람의 보행만을 고려한다. 기존의 연구들에서 사람의 보행은 일반적으로 2 Hz에서 가장 많은 빈도수를 가지는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 2 Hz의 진동수를 가지는 보행에 대해서만 고려하며, 측정대상 구조물은 사람의 활동이 많은 업무용 건물을 그 대상으로 한다. 바닥구조는 철골조 건물에 주로 사용되고 있는 합성데크플레이트를 대상으로 하였다.

사람의 동작에 의해 발생하는 바닥구조의 응답은 바닥구조의 강성, 질량과 감쇠에 의해 결정된다. 합성데크플레이트를 사용한 바닥의 경우 강성에 영향을 주는 변수로는 콘크리트의 강도에 따른 탄성계수, 포아송비, 데크플레이트의 형상, 단부지지조건 등이 있으며, 질량에 영향을 주는 요인으로는 고정하중과 적재하중을 들 수 있으나 진동의 해석에서 적재하중은 제외된다. 또한 강성과 동시에 질량에도 영향을 주는 요인으로는 슬래브의 폭과 길이, 콘크리트의 토핑두께, 데크플레이트의 두께, 와이어메쉬, 보의 종류 등을 고려할 수 있다. 특히 감쇠는 구조물의 동적해석에 있어서 매우 중요한 요소로서, 구조물의 응답으로부터 파악할 수 있다.

본 연구를 수행하기 위한 가정은 다음과 같다.

- (1) 바닥판의 진동은 수직방향의 자유도만을 가지는 1자유도계 시스템으로 가정한다.
- (2) 등가의 슬래브 강성을 결정함에 있어 재료는 탄성거동을 하는 것으로 가정하며, 콘크리트의 균열발생을 무시하고 콘크리트와 데크플레이트는 일체거동을 하는 것으로 가정한다.
- (3) 바닥판의 구조시스템의 수학적 모델은 수직방향의 변위만을 자유도로 하는 1자유도계 시스템으로 단순화한다.
- (4) 단부의 지지조건은 단순지지로, 보와 슬래브는 일체거동

* 주저자, 경희대학교 교수, 공학박사
 ** 교신저자, 경희대학교 대학원 석사과정(choijaneho@khu.ac.kr)
 *** 경희대학교 전임강사, 공학박사, 건축구조기술사
 **** (주)삼성물산 건설부문 건축기술팀, 공학박사, 건축구조기술사

하는 것으로 가정한다.

(5) 사람의 보행에 의한 바닥판의 응답은 경계조건의 조절로써 연속된 슬래브의 영향을 고려한다.

(6) 바닥마감재나 설비의 설치로 인한 바닥판의 강성과 감쇠의 변화는 무시한다.

본 연구에서는 이러한 바닥판의 응답을 이용하여 하중을 산정하며, 특히 본 연구를 수행하기 위해서 바닥판의 응답을 측정하여 동적 특성을 파악하고 실제 사람의 보행에 의한 응답을 실측하여 사용하였다.

2. 바닥판 진동의 측정

2.1 측정 종류 및 방법

본 연구에서는 바닥판의 고유진동수와 피실험자의 보행으로 발생하는 바닥판의 응답가속도를 측정하였다. 먼저 간단한 자유진동실험을 통한 고유진동수를 측정하였으며, 서로 다른 경계조건과 길이를 가진 바닥판에서 실험을 수행함으로써 바닥판의 동적거동에 영향을 미치는 요인들을 살펴보았다. 그리고 피실험자의 보행으로 인해 발생하는 시간영역에 대한 응답의 크기를 측정함으로써 사람의 보행으로 인해 발생할 수 있는 바닥판의 진동을 살펴보았다. 동시에 시간영역과 주파수영역에 대해 응답을 측정하였으며 범위는 기존의 연구 결과를 바탕으로 사람의 진진운동에 영향을 주는 1~100 Hz의 범위²⁾로 측정하였다.

2.2 측정대상 구조물의 개요

합성데크플레이트로 개발된 K 데크는 웨브가 있는 요철을 이용하여 플랜지와 콘크리트의 부착력을 증대시킴으로써 합성슬래브의 단면성능을 높일 수 있다는 특징이 있다. 콘크리트의 토평은 80 mm이고 와이어 메쉬는 $\phi 6$ -100X100 mm로 동일하게 시공되었다.

그림 2.1과 그림 2.2는 본 연구에 사용된 합성바닥판의 형상, 단면형상 및 치수를 나타내고 있으며 측정 바닥판의 경계조건 및 측정지점, 사용된 보의 크기는 표 2.1과 같다.

2.3 측정 방법

바닥 슬래브의 고유진동수는 슬래브의 변장비, 두께, 포아송비, 탄성계수, 단부의 지지조건 등에 의해 결정된다.

본 측정에서는 먼저 운동방정식을 적용하기 위하여 10 kg의 모래주머니를 50 cm의 높이에서 떨어뜨리는 자유진동실험을 통해 주파수 영역에 대한 응답을 측정하여 고유진동수를 구하였다. 바닥판의 고유진동수는 콘크리트의 강도에 민감하게 영향

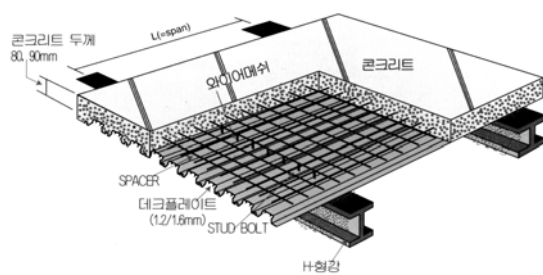


그림 2.1 합성데크플레이트를 사용한 바닥판의 형상

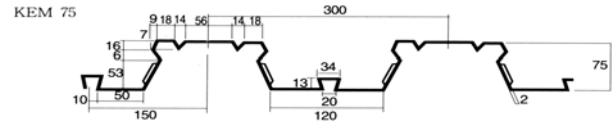
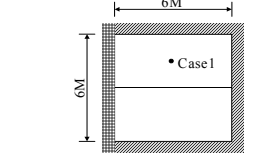
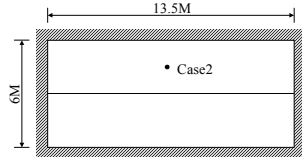
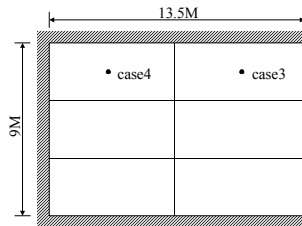
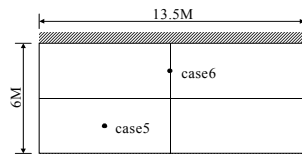


그림 2.2 K 데크의 단면형상 및 치수


표 2.1 측정슬래브의 재원 및 측정지점


SLAB	형태와 지지조건	Beam Section
1		H-500X200X10X16 H-350X175X7X11
2		H-606X201X12X20
3		H-700X300X13X24 H-606X201X12X20 H-600X200X12X17 H-588X300X12X20 H-194X150X6X9
4		H-700X300X13X24 H-606X201X12X20 H-600X200X12X17 H-582X300X12X17


Deck : KEM75(t=1.2)

Wiremesh : $\phi 6$ -100X100

Topping : 80 mm

 fixed

 continuous

 free

을 받으므로, 콘크리트 타설 후 설계강도가 재현되는 28일 이후에 측정을 하였다. 또한 측정시 영향을 최소화하기 위해, 시공에 쓰일 물건들이 적재되어 있지 않고 설비를 위한 개구부가 없는 장소에서 측정을 실시하였다. 그리고 보행에 의한 바닥판의 응답을 측정하기 위하여, 보로 구분된 슬래브의 중앙에 센서를 설치하고 30 cm 떨어진 지점에서 몸무게 80 kg인 사람이 제자리걸음을 함으로써 보행에 대한 응답을 시간영역과

표 2.2 고유진동수 측정결과

측정횟수	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
1	18.03	8.875	8.500	8.500	10.630	10.500
2	18.00	8.906	8.500	8.375	10.630	10.500
3	18.03	8.875	8.375	8.500	10.630	10.500
4	18.00	8.900	8.625	8.375	10.380	10.500
5	18.06	8.875	8.250	8.250	10.630	10.500
6	18.06	8.906	8.280	8.375	10.750	10.750
평균 (Hz)	18.03	8.890	8.417	8.175	10.608	10.542

주파수영역으로 측정하였으며 주파수의 영역은 1~100 Hz의 범위로 측정하였다. 시간영역으로 측정하였을 경우 시간범위는 16 초로, 32 번의 보행이 포함되며 6 번 이상 측정을 수행하였다.

2.4 측정 결과의 분석

합성바닥판의 고유진동수를 측정한 결과는 표 2.2에 나타내었으며, 측정값의 평균값을 적용하였다. 단변방향 길이가 같은 바닥판의 고유진동수를 비교하면, 보의 종류가 유사하므로 보에 의한 영향을 제외하고 고려할 때 장변방향의 길이 변화에 따라 고유진동수가 현저하게 차이가 남을 알 수 있다.

CASE 4, 5, 6에서는 하나의 단변에서만 연속이며 CASE 2와 동일한 스패닝에도 불구하고 1.6 Hz 정도 고유진동수가 더 높게 나타났다. 또한 CASE 2와 CASE 3을 비교할 때 장변방향 길이가 같고 CASE 2의 단변방향 길이가 6 m, CASE 3의 단변방향 길이가 9 m로 CASE 3의 고유진동수가 훨씬 낮게 나와야 되는데도 불구하고 유사하게 나타났다. 이는 큰 보와 큰 보를 연결하는 작은 보의 영향, 또는 여러 가지 영향에 의한 것으로 판단되며 이에 대한 연구가 필요하다.

사람의 보행에 의해 슬래브에서 발생하는 응답은 하나의 바닥판 위에서 한사람의 보행에 의한 응답가속도이며 보행에 따라 뚜렷한 형상으로 나타났다. 순간 최대가속도는 CASE 4의 경우 평균 0.038 g, 즉 37.24 cm/s² 정도로 크게 나타났다. 최대가속도는 기둥으로 구분된 슬래브의 장변과 단변의 길이가 증가함에 따라 최대가속도가 커짐을 알 수 있다. 6 m×6 m의 스패를 가진 바닥판의 경우 최대가속도는 0.023 g, 6 m×13.5 m인 경우 0.025 g, 9 m×13.5 m인 경우 0.03 g로 나타났으며, 같은 크기를 가진 슬래브 2와 슬래브 4를 비교할 경우 경계조건의 차이에 의해 0.002 g 정도의 차이를 보였다. 그리고 응답주파수는 30.114 Hz에서 나타나는 2차 모드에서 지배적인 진폭이 나타남을 알 수 있었다.

3. 보행 하중식 구성

3.1 보행 하중의 산정

본 연구에서는 바닥판의 수학적 모델을 수직방향의 변위만을 자유도로 갖는 1자유도계 시스템으로 가정하며, 이러한 시스템의 운동방정식은 식 (3.1)과 같이 나타낼 수 있다.³⁾

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = \frac{F(t)}{m} \tag{3.1}$$

사람의 보행에 의해 발생하는 동적하중을 예측하기 위해 운동방정식에 적용할 변수들은 가속도, 속도, 변위, 고유진동수, 감쇠, 질량이 있다. 먼저 속도와 변위는 앞장에서 측정된 가속도의 직접적분에 의하여 구할 수 있다. 식 (3.1)을 Taylor 급수로 전개하고, f^(k)(t)를 f(t)의 k차 도함수, 시간 t에서의 진동가속도를 \ddot{x} , 시간 t+Δt에서의 진동가속도를 $\ddot{x}_{t+\Delta t}$ 라 하면, 식 (3.2)와 같이 나타낼 수 있으며,

$$f(t+\Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\Delta t)^k}{k!} f^{(k)}(t) \tag{3.2}$$

$\ddot{x}_{t+\Delta t}$ 및 $\dot{x}_{t+\Delta t}$ 를 Taylor 급수로 전개하면 식 (3.3)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_{t+\Delta t} &= \dot{x}_t + (\Delta t)\ddot{x}_t + \frac{1}{2}(\Delta t)^2\dddot{x}_t + \dots \\ x_{t+\Delta t} &= x_t + (\Delta t)\dot{x}_t + \frac{1}{2}(\Delta t)^2\ddot{x}_t + \frac{1}{6}(\Delta t)^3\dddot{x}_t + \dots \end{aligned} \tag{3.3}$$

여기서 시간 Δt 동안 가속도가 직선적으로 변한다면, 식 (3.4)와 같이 표현할 수 있으며 4차 이상의 도함수는 모두 0이 된다.

$$\ddot{x}_i = \frac{\ddot{x}_{i+\Delta t} - \ddot{x}_i}{\Delta t} \tag{3.4}$$

이에 따라 식 (3.5)로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_{t+\Delta t} &= \dot{x}_t + \frac{(\Delta t)}{2}\ddot{x}_t + \frac{(\Delta t)}{2}\ddot{x}_{t+\Delta t} \\ x_{t+\Delta t} &= x_t + (\Delta t)\dot{x}_t + \frac{(\Delta t)^2}{3}\ddot{x}_t + \frac{(\Delta t)^2}{6}\ddot{x}_{t+\Delta t} \end{aligned} \tag{3.5}$$

여기서 진동속도 및 변위의 초기치는 식 (3.6)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_{t=0} &= \ddot{x}_{t=0}\Delta t \\ x_{t=0} &= \frac{1}{2}\ddot{x}_t(\Delta t)^2 \end{aligned} \tag{3.6}$$

본 연구에서는 압진동의 영향과 오차를 줄이기 위하여 측정된 응답가속도를 하나의 주기로 분할하여 연구를 진행하였다. 한 주기는 0.5초이며 30개 이상의 평균값을 사용하였다. 그 결과 기둥으로 구분된 바닥판을 하나의 슬래브라고 할 때, 같은 슬래브에서 측정된 응답은 유사한 형태와 진폭을 나타내었다. 슬래브 1의 CASE 1의 경우 최대가속도는 22.64 cm/sec²으로 나타났으며 최대속도 0.08 cm/sec, 최대변위 0.0012 cm로 속도와 변위는 매우 작은 값을 나타내었다. 슬래브 2의 CASE 2의 경우 최대가속도는 24.75 cm/sec², 최대속도와 최대변위는 0.12 cm/sec, 0.0013 cm로 나타났다. 슬래브 3의 CASE 3, 4의 경우 최대가속도는 29.16 cm/sec²으로 나타났고, 최대속도와 최대변위는 0.15 cm/sec, 0.0024 cm로 나타났다. 또한 슬래브 4의 CASE 5, 6의 경우 최대가속도는 22.39 cm/sec², 최대속도와 최대변위는 0.10 cm/sec, 0.0012 cm로 나타났다. 슬래브의 스패닝에 대한 비교를 통해, 장스패닝 경우 상대적으로 높은 응답이 일어나는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 슬래브의 감쇠비 ξ는 주파수를 이용해 계산한 결과, 1.5%~3%의 범위로 나타났으므로 2%로 산정하여 적용하였다. 또한 합성데크플레이트 바닥의 유효모드 질량은 1/4mWL이고, 여기서 m은 바닥의 단위면적당 질량, W는

표 3.1 각 슬래브에 대한 유효모드 질량

SLAB	1	2	3	4		
측정지점	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
유효모드 질량(kg)	143.0	286.2	287.3	287.3	287.3	287.3

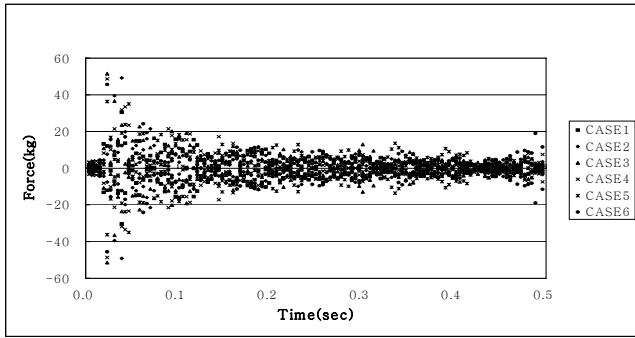


그림 3.1 운동방정식으로부터 구한 하중의 분포

슬래브의 폭, L 은 슬래브의 길이이다. 슬래브의 단위면적당중량은 266.35 kg이며 적용된 각 슬래브에 대한 유효모드 질량은 표 3.1과 같다. 그리고 그림 3.1에 나타난 하중의 분포는 운동방정식에 대입하여 나타낸 속도와 변위가 매우 작은 값으로 가속도의 값에 대하여 민감하게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.2 보행하중식의 구성

사람의 보행에 의해 바닥판에 가해지는 하중은 불규칙적인 형태의 주기하중으로 표현된다. 주기하중($F(t)$)은 상수부분과 몇 개의 조화(Harmonic)하중으로 나눌 수 있는데, 이 조화하중들을 겹치면 총 하중-시간 함수가 나온다. 조화하중의 분해는 하중의 푸리에(Fourier) 급수로 나타나며 푸리에 해석으로 일컬어지기도 한다.

기본 관계는 식 (3.7)과 같다.⁴⁾

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (3.7)$$

여기서 푸리에 상수는 식 (3.8)과 같다. $\omega=2\pi/T$ 는 하중의 최소 회전 주파수이다.

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) dt \end{aligned} \quad (3.8)$$

조화 요소들의 주파수들은 하중 주파수 ω 의 곱들이다. N 번째 조화하중은 식 (3.9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_n(t) &= a_n \cos\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) + b_n \sin\left(n\frac{2\pi}{T}t\right) \\ &= A_n \sin\left(n\frac{2\pi}{T}t + \phi_n\right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

N 번째 요소의 진폭(amplitude) A_n 과 위상각 ϕ_n 은 각각 식 (3.10)과 (3.11)로 나타낼 수 있다.(정적인 경우에 $n=0$ 은 $F_0=a_0$)

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (3.10)$$

$$\phi_n = \arctan \frac{a_n}{b_n} \quad (3.11)$$

하중의 조화 해석 결과는 보통 하중 주파수 ω 에 의한 후리에 요소, 진폭 A_n 으로 나타낼 수 있다.

$$F(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n e^{in\frac{2\pi}{T}t} \quad (3.12)$$

$$A_n = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) e^{-in\frac{2\pi}{T}t} dt \quad (3.13)$$

여기서 A_n 은 하중함수 $F(t)$ 의 복잡한 후리에 진폭이다. 식 (3.8)은 주기하중의 역 후리에 전환이고 $\omega n=2\pi/T$ 에서 조화하중을 분산시킨 주파수에서 구할 수 있다. 이렇게 구한 후리에 진폭계수와 위상각을 그림 3.2과 3.3에 나타내었다.

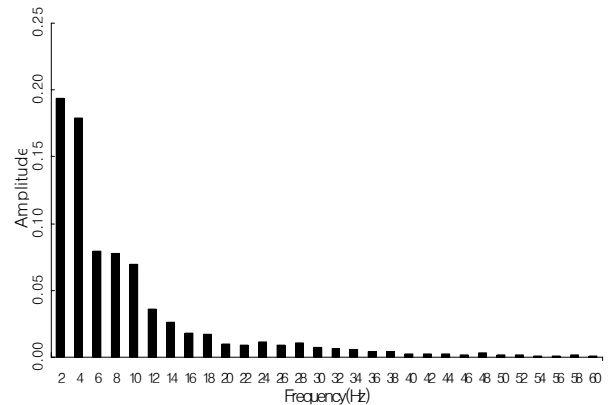


그림 3.2 후리에 진폭계수

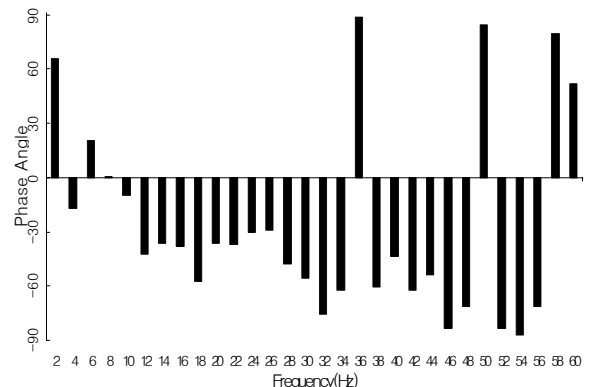


그림 3.3 위상각

후리에 진폭계수를 고려할 때 10차, 즉 20 Hz 이상의 주파수에 대한 각각의 진폭은 전체 진폭의 1% 이하로 나타났다. 이는 전체적인 하중의 크기와 형상에 대해 거의 영향을 미치지 않으므로, 9차 이내에서 차수를 선정하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

3.3 유효한 적용차수의 선정

응답의 크기는 진폭계수에 영향을 받으며 앞서 알아낸 진폭을 고려할 때 1, 2차에서 지배적인 크기를 나타낸다는 것을 알

수 있다. 그리고 3, 4, 5차에서는 전체 진폭의 10 % 정도로써 전체적인 하중의 크기에 영향을 줄 수가 있으나 6, 7, 8, 9차는 전체 진폭의 2~3 % 정도로써 전체적인 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 5차까지의 조화를 포함한 하중식을 적용한 결과의 사이에서 실제 최대응답가속도가 존재하는 것을 알 수 있으며, 적용차수의 선정에 있어서 정확성과 효율성을 고려할 때 5차까지의 조화를 고려하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

이에 따라 본 연구에서는 5차까지의 조화하중을 포함한 하중 곡선을 적용하여 연구를 진행하기로 하였다. 그림 3.4에 5차까지의 조화를 고려한 하중곡선을 나타내었으며, 이를 식으로 나타내면 식 (3.14)와 같으며, 각 조화에 대한 진폭계수와 위상은 표 3.2에 나타내었다.

$$F(t) = P \left[1 + \sum_{n=1}^5 \Delta_n \sin(2\pi f_s t + \varphi_n) \right] \quad (3.14)$$

- 여기서, P : 사람의 몸무게(kg)
- Δ_n : 각 조화에 대한 진폭계수
- φ_n : 각 조화에 대한 위상
- f_s : 보행진동수(Hz)
- t : 시간(sec)

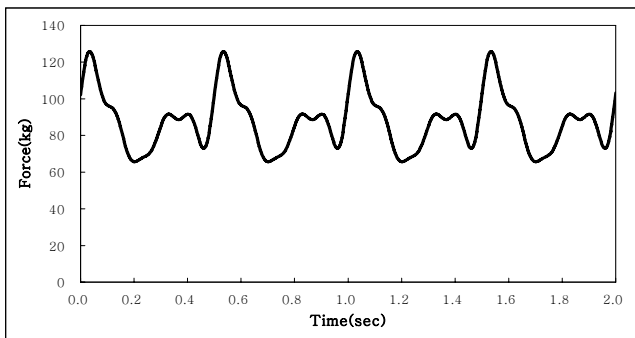


그림 3.4 5차까지 조화를 포함한 보행하중곡선

표 3.2 각 조화에 대한 진폭계수와 위상

조화차수	Δ_n	Φ_n
1	0.194	66°
2	0.178	-17°
3	0.079	20°
4	0.078	1°
5	0.069	-10°

3.4 슬래브의 모델링

합성바닥판을 해석하기 위한 모델링에서 데크플레이트와 콘크리트를 분할할 경우, 자유도수의 급격한 증가로 바닥판을 포함하는 전체 구조물을 해석하는데 너무 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서 해석의 효율성을 위하여 모델을 단순화시킬 필요가 있으므로 본 연구에서는 합성슬래브 내부의 데크플레이트와 콘크리트가 일체성을 가진다는 가정 하에 단일 콘크리트 슬래브로 단순화시켰다. 또한 데크플레이트와 와이어메쉬 역시 같은 강성을 가진 콘크리트로 환산하여 바닥판의 두께를 결정할

결과 마루부분은 8.75 cm, 골부분은 15.54 cm로 나타났으며, 이를 적용하여 해석하였다.

기존의 연구 결과에 따라 사람의 감각에 영향을 주는 80 Hz 까지의 진동수⁵⁾를 고려할 때, 슬래브 1의 경우 80 Hz의 범위에서 8 개의 진동모드가 존재하며 각각의 모드형상과 모드별 진동수는 표 3.3에 나타내었다. 전산해석을 수행한 결과는 측정결과와 비교할 때 매우 적은 오차를 가지며 거의 유사한 진동수가 나타남을 알 수 있었다. 이중 최저차 모드가 바닥판의 고유진동수이다.

3.5 전산해석 결과

5차까지의 조화하중을 적용하여 동적해석을 수행한 결과, 전산해석에서 나타난 각 CASE 별 고유진동수와 실측치의 차이는 표 3.4과 그림 3.5에 나타내었다. 보행하중은 Transient Loading으로 적용하였으며, 적용시간은 0.01 초 간격으로 2 초의 시간을 적용하였다. 보행에 의해 나타나는 응답가속도는 그림 3.6과 같이 나타났다. 감쇠비는 각 모드별로 2 %로 적용하였으며, 해석가속도 응답과 실측가속도를 비교할 때, 30.118 Hz를 가지는 두 번째 모드에서 동일한 지배적인 진폭이 나타남을 알 수 있다. 최대가속도는 해석가속도가 실측가속도 보다 2.17 cm/sec² 정도 낮게 나타났다.

표 3.3 모드별 진동수

MODE	1	2	3	4	5	6	7	8
진동수 (cyc/sec)	18.54	30.12	38.01	50.87	51.63	62.13	69.61	75.47

표 3.4 고유진동수(해석치)

측정지점	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
고유진동수 (Hz)	18.539	8.926	7.869	7.869	10.653	10.653

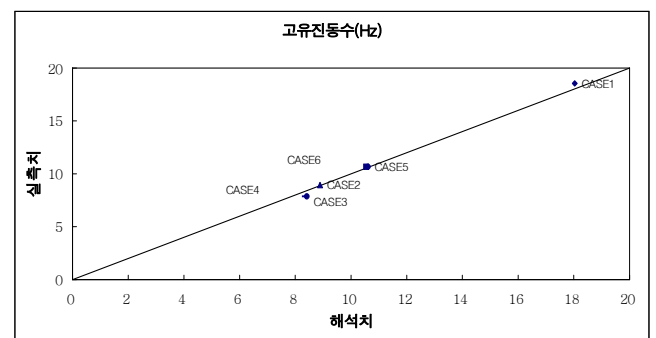


그림 3.5 고유진동수 비교

이는 보다 용이한 전산해석을 위하여 바닥판의 모델링을 단순화한 경우에 나타나는 오차와 정확한 감쇠비와 적용한 감쇠비의 차이에서 나타나는 영향으로 볼 수 있다. 그러나 전체적인 응답을 고려할 경우 진동수와 진폭에 대하여 매우 유사한 형태와 크기를 나타남을 알 수 있다. 그러므로 본 하중식을 적용하여 전산해석 수행시 바닥판의 모델링이 적절할 경우 실제와 유사한 응답을 구할 수 있을 것으로 판단된다.

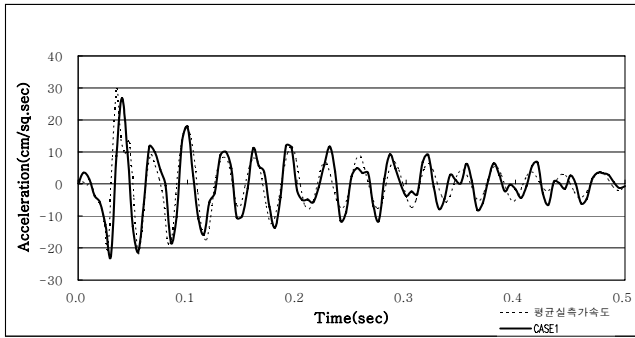


그림 36 실측가속도와 해석가속도 비교

4. 결론

본 연구에서는 사람의 동작중 보행에 의해 바닥판에서 발생하는 진동을 측정하여 이를 바탕으로 보행시 발생하는 동적하중을 불규칙적인 형태를 가진 조화함수로 나타내었으며 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 측정된 결과를 살펴볼 때 합성데크플레이트를 사용한 바닥판의 경우 슬래브의 장변방향 길이에 따라 고유진동수에 많은 변화가 발생함을 알 수 있으며, 기둥으로 구분되는 슬래브의 장변과 단변의 길이가 증가함에 따라 보행에 의한 가속도 응답이 커짐을 알 수 있었다.

2. 사람의 보행에 의해 바닥판에 가해지는 동적하중은 보행진동수의 정수배로 나타나는 지배적인 진동수에 의한 조화함수로서 표현할 수 있으며, 정확성과 효율적인 측면을 고려할 때 적용차수는 5차까지 적용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 제안된 하중식은 다음과 같다.

$$F(t) = P \left[1 + \sum_{n=1}^5 \Delta_n \sin(2n\pi f_s t + \varphi_n) \right]$$

3. 전산해석시 합성데크플레이트를 사용한 바닥판의 경우 적절한 경계조건의 조절을 통하여 모델링할 수 있으며, 슬래브의 단부지지조건을 적용하는데 있어서 큰 보에서 발생하는 처짐, 그리고 연속되는 슬래브에 의한 상대적 강성의 증가가 고려되어야 한다.

4. 전산해석결과 바닥판의 스펙이 같은 경우, 마감이나 설비에 의한 질량의 증가에 따라 고유진동수가 낮아지며, 보행에 의한 가속도 응답이 감소함을 알 수 있다.

합성데크를 사용한 바닥판의 동적인 응답을 살펴보기 위해 먼저 바닥판의 동적응답에 영향을 미치는 바닥판의 단변, 장변 길이에 대한 영향과 큰 보와 보의 크기, 배치형태에 대한 연구가 필요하며, 또한 전산해석 프로그램을 사용하여 보다 정확하고 효율적인 모델링 방법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 간단한 해석을 통하여 정확한 응답을 구하고 공진에 대한 고려를 위하여 바닥판의 감쇠에 대한 연구가 절실하게 요구된다. 그리고 우선적으로 구조물에 진동을 발생시키는 진동원에 대한 체계적인 연구가 이루어져 사용성 평가를 위한 도구가 마련되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이정배 외, “보행에 의한 슬래브진동의 사용성평가에 관한연구”, 대한건축학회 학술발표논문집 제15권 제1호 1995, pp. 387-390.
2. 전성택, 소음진동편람(진동편), 동화기술, 1992
3. Hugo Bachmann, Walter Ammann(1987), “Vibrations in Structures -Induced by Man and Machines”, IABSE-AIPC- IVBH, pp.13-42.
4. Allen, D.E., Murray, T.M, “Design Criterion for Vibration Due to Walking”, AISC Engineering Journal 4th, 1993, pp.117-129.
5. Murray, T.M, “Acceptability Criterion for Occupant - Induced Floor Vibrations, ”AISC Engineering Journal, 1981, pp.62-72.