

합성데크 바닥판 구조물의 진동해석을 위한 실용적인 모형화

Practical Modeling for the Vibration Analysis of a Composite Deck Slab Structures

김기철*
Kim, Gee-Cheol

김재열**
Kim, Jae-Yeol

국문요약

데크플레이트와 콘크리트가 합성되어 있는 합성 바닥판 구조물은 데크플레이트의 골 방향과 골 직각방향에 대하여 강성이 다르므로 직교이방성판 거동을 보이고 있으며 데크플레이트와 콘크리트의 합성 거동으로 인하여 적층 바닥판 구조물로 평가할 수 있다. 이러한 합성데크 바닥판 구조물의 진동에 대한 정확한 사용성 평가를 위해서는 합성데크 바닥판 구조물의 정밀 진동해석을 수행하여야 한다. 이를 위해서는 합성데크 바닥판 구조물의 강성에 대한 직교이방성 그리고 데크플레이트와 콘크리트의 합성에 대한 정확한 거동 평가가 수반되어야 한다. 본 논문에서는 합성데크 바닥판 구조물의 골 직각 방향에 대한 강성을 계산하기 위하여 각각의 톱핑 콘크리트 두께와 데크플레이트 두께를 적용하였다. 또한 골 방향에 대한 강성을 계산하기 위하여 콘크리트와 데크플레이트의 단면 강성을 구하여 등가두께를 적용하였다. 그리고 콘크리트와 데크플레이트의 합성거동을 표현하기 위하여 적층판에 대한 등가 강성식을 적용, 합성데크 바닥판 구조물의 강성을 나타내었다. 본 논문에서 제안한 합성데크 바닥판 구조물의 실용적인 모형화방법을 적용할 경우에 합성데크 바닥판 구조물의 강성에 대한 직교이방성과 콘크리트와 데크플레이트의 합성 거동을 잘 표현할 수 있었다.

주요어 : 데크플레이트, 합성바닥판, 진동해석, 직교이방성판, 적층판

ABSTRACT

Composite slab structures consisted with steel deck plate and concrete material show generally anisotropic structural behavior because of different stiffness between the major direction and sub-direction of deck plate, and also the structures can be regarded as the laminated slab structures. It is necessary for the composite deck slab structures to carry out the exact vibration analysis to evaluate the serviceability. Also, it is needed to evaluate the exact structural behavior of composite deck slab with a layered orthotropic materials. In this paper, the thickness of topping concrete and deck plate are used to calculate the material coefficient stiffness of a sub-direction, and an equivalent depth calculated from sectional stiffness of concrete and deck plate is applied to get the stiffness of a major direction. The stiffness of two layered composite plates with different depth is determined by laminated theory. It is concluded that the presented method can efficiently analyze the structural behavior of composite deck slab consisted with steel deck plate and concrete material in the practical engineering field.

Key words : deck plate, composite slabs, vibration analysis, orthotropic plate, laminated plate

1. 서론

최근 바닥판 시스템의 시공에 있어서 공기단축뿐만 아니라 공기단축으로 인한 인건비 절감, 용이한 시공 등 많은 장점으로 데크플레이트의 사용이 증가하고 있다. 또한, 바닥판 시스템의 균열제어, 정모멘트에 대한 철근 저감 그리고 높은 품질관리 등의 이유로 데크플레이트를 적용한 합성데크 바닥판 시스템이 보편화되어 가고 있는 추세이다. 데크플레이트는 시공 중에 장비나 자재를 적재하거나 부재를 제작하는 공간으로 활용되며 콘크리트 거푸집으로 사용된다. 또한 구조적으로 합성데크 바닥판의 정모멘트에 대한 저항능력을 증가시킨다. 데크플레이트는 거푸집용과 구조용으로 구분할 수 있으며 구조용 데크플레이트는 콘크리트가 경화되기 전까지는 거푸집 역할을 하게 되며 콘크리트가 경화된 후에는 인장재 역할을 하게 된다. 그리고 콘크리트 경화 후에는 데크플레이트와 콘크리트가 구조적으로 일체화되어 효율적이고 합리적인 합성 바닥판 시스템

으로 거동하게 된다. 그러나 구조용 데크플레이트의 적용으로 바닥판 구조물의 부재 단면을 줄여 콘크리트 사용량을 줄일 수 있으나 과도한 처짐과 진동 등으로 인하여 바닥판 구조물의 사용성에 문제가 발생하게 된다. 합성데크 바닥판 구조물의 처짐과 진동에 대한 올바른 사용성 평가를 위해서는 합성데크 바닥판 구조물의 강성을 정확하게 고려하여 해석을 수행하여야 한다.⁽¹⁾ 이를 위해서는 합성데크 바닥판 구조물의 강성에 대한 직교이방성 그리고 데크플레이트와 콘크리트의 합성거동에 대한 올바른 평가가 수반되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 데크플레이트와 콘크리트가 합성된 바닥판 구조물의 정확한 진동해석을 위하여 적층판이론과 직교이방성판이론을 활용한 합성데크 바닥판 구조물의 실용적인 모형화 방법을 제안하고자 한다.

2. 합성데크 바닥판 구조물의 강성 평가

현재 엔지니어링 실무에서는 데크플레이트와 콘크리트가 합성된 바닥판 구조물의 해석에 있어서 데크플레이트와 콘크리트를 등가의 두께로 간단하게 모형화하여 해석을 수행하고 있다. 이러한 모형화 방법은 합성데크 바닥판 구조물

* 정회원 · 서울대학 건축과 전임강사, 공학박사(대표저자: beat67@seoul.ac.kr)

** 협성대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2005년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.
(논문접수일 : 2005. 3. 16 / 심사종료일 : 2005. 5. 4)

의 일방향성 거동을 제대로 표현하지 못하기 때문에 정밀한 해석을 요구하는 경우에는 그다지 합리적이지 못한 모형화 방법이라 할 수 있다. 판 요소에 데크플레이트의 골 방향으로 보 요소를 추가하는 방법으로 데크 바닥판 구조물의 직교이방성을 고려하여 진동해석을 수행할 수도 있지만, 이러한 모형화 방법은 모형화가 번거로우며 해석모델의 절점 및 요소 수가 증가하므로 실용적이지 못하다. 그리고 콘크리트와 강재 데크플레이트와의 합성에 대해서는 강재 데크플레이트를 철근콘크리트 구조의 휨에 대한 인장부재로 고려하고 콘크리트와 강재 데크플레이트의 탄성비를 이용한 환산단면으로 합성데크 바닥판 구조물의 강성을 평가한다. 이 방법은 데크플레이트를 제작하거나 시공하는 측면에서는 손쉽게 적용할 수 있겠지만, 합성데크 바닥판 구조물의 직교이방성과 데크플레이트와 콘크리트의 합성거동을 정확히 나타낼 수 없는 취약점이 있다. 따라서 합성데크 바닥판 구조물에 대한 실용적인 진동해석을 위해서는 비교적 정확한 해를 얻을 수 있을 뿐 아니라 실무에서 손쉽게 적용할 수 있는 새로운 모형화 방법이 필요하다.

2.1 합성데크 바닥판 구조물의 일반적인 강성 평가

구조용 데크플레이트는 바닥판 구조물의 정모멘트에 대하여 인장철근의 역할을 하게 된다. 데크플레이트의 인장력은 데크플레이트 도심에 작용하는 것으로 가정한다. 합성데크 바닥판 구조물의 해석을 위하여 그림 1과 같이 단면을 이상화하여 단면 2차모멘트를 계산한다. 합성데크 바닥판 구조물의 바닥판 강성계산을 위하여 강재 데크플레이트를 콘크리트와 강재 데크플레이트의 탄성비 ($n = E_s/E_c$)에 의한 환산단면을 적용하여 단면 2차모멘트를 계산한다.

여기서 y_d 는 데크플레이트의 도심까지의 거리이며, y 는 환산단면의 압축연단에서 중립축까지의 거리를 의미한다. 그리고 A_d 는 데크플레이트의 단면적이며, t_{eq} 는 콘크리트의 등가단면 두께를 의미한다.

합성데크 바닥판 구조물의 비균열 유효단면의 환산 단면 2차모멘트는 다음 식 (1)과 같다. 합성데크 바닥판 구조물에서 압축철근은 비균열 유효단면의 환산 단면 2차모멘트에 미치는 영향이 매우 작으므로 무시하였다. I_d 는 데크플레이트의 단면 2차모멘트이며 n 은 콘크리트 탄성계수에 대한 데크플레이트의 탄성계수 (E_s/E_c)비이다.

$$I_g = \frac{B_d h_c^3}{12} + B_d h_c (y - \frac{h_c}{2})^2 + \frac{B_d h_d^3}{12} + \frac{B_d h_d}{2} (h_c + \frac{h_d}{2} - y)^2 + n [I_d + A_d (d - y)^2] \tag{1}$$

중립축에 대한 균열 단면 2차 모멘트는 식 (2)와 같으며 인장축의 콘크리트 단면은 무시한다. 압축연단에서 중립축까지의 거리 kd 로 결정되며 중립축 깊이비인 k 는 탄성해석에 의해 다음 식 (3)과 같다.

$$I_{cr} = \frac{B_d (kd)^3}{3} + n [I_d + A_d (d - y)^2] \tag{2}$$

$$k = n \rho_d (-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n \rho_d}}) \tag{3}$$

ASCE와 대한건축학회 합성데크 바닥구조 설계기준(안)에 따르면 합성데크 바닥판 구조물의 처짐계산에 있어서 유효단면 2차모멘트는 식 (4)과 같이 단순히 전 단면 2차모멘트와 균열 단면 2차모멘트의 평균값을 사용하고 있다.

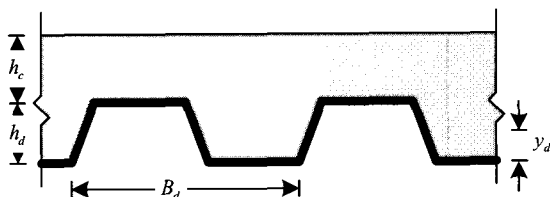
$$I_e = \frac{I_g + I_{cr}}{2} \tag{4}$$

2.2 합성데크 바닥판 구조물의 실용적인 강성평가

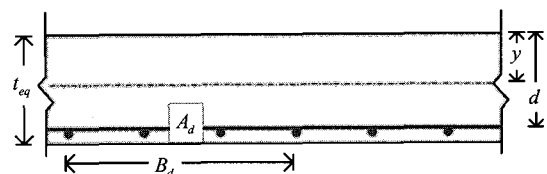
2.2.1 직교이방성판 이론을 적용한 합성데크 바닥판 구조물의 강성 평가

합성데크 바닥판 구조물을 적층판 이론을 적용하여 해석하기 위해서는 데크플레이트와 콘크리트에 대하여 골 방향과 골 직각 방향의 단면형상이 다른 것을 두께가 일정한 개개의 판으로 이상화시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 직교이방성판이론을 도입하여 강재 데크플레이트와 콘크리트에 대한 강성 및 재료상수를 재평가 하였다.

합성데크 바닥판 구조물의 골 직각 방향에 대한 강성 (D_x)을 계산하기 위하여 콘크리트부분에 대해서는 토핑 콘크리트 두께를 적용하며, 강재 데크 플레이트에 대해서는 데크플레이트 두께를 적용하여 골 직각 방향 두께(t_1)를 구한다. 그리고 골 방향에 대한 강성(D_y)은 콘크리트와 데크플레이트에 대한 단면 2차모멘트를 각각 구하여 식



(a) 합성데크 바닥판 단면



(b) 이상화된 철근콘크리트 단면

그림 1 합성데크 바닥판 단면의 이상화

(5)와 같이 등가두께(t_{eq})를 적용하여 계산한다. 이 방법은 간단한 계산식을 통하여 합성데크 바닥판 구조물의 직교이방성을 고려할 수 있어 매우 실용적이다. 합성데크 바닥판 구조물의 모형화에서 x 방향과 y 방향의 두께를 다르게 하여 모형화하는 것은 불가능하므로 식 (6), 식 (7)과 같이 두 방향의 탄성계수, E_x 와 E_y 를 다르게 적용한다.⁽³⁾

$$(t_{eq})^3 = \frac{12 I_d}{s} \quad (5)$$

$$E_x = E \left(\frac{t_1}{t} \right)^3 \quad (6)$$

$$E_y = \frac{1}{t^3} \times \frac{12 E I_d}{s} \quad (7)$$

여기서, I_d 는 토핑 콘크리트와 강재 데크플레이트의 단면 2차모멘트, s 는 데크플레이트의 골 간격, t 는 적용하고자 하는 바닥판 두께이다. 식(5), (6), (7)에 의하여 구해진 강재 데크플레이트 및 콘크리트의 재료상수들은 적층판의 강성을 구하는 과정에 적용된다.

2.2.2 적층판에 대한 강성평가식

적층판은 일련의 판들이 축에 대하여 적당한 각도를 이루며 일체화된 경우를 말하며 이러한 적층판을 해석하기 위해서는 이방성 적층판 이론이 도입되어야 한다. 본 절에서는 이방성 적층판 이론을 도입한 강성평가식을 간단히 소개한다.⁽⁴⁾

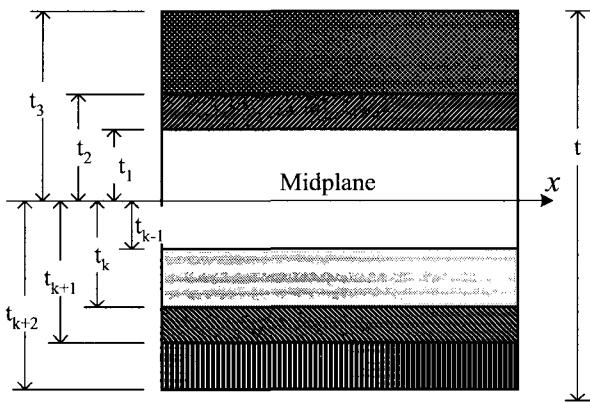


그림 2 적층판 구조물

그림 2와 같이 다층으로 이루어진 이방성 적층판에 대한 k 층에 대한 변형도-변위 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}_k = -z [D^*]_k \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} = z [D^*]_k \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

$$D^* = \begin{bmatrix} D_{11}^* & D_{12}^* & D_{13}^* \\ D_{12}^* & D_{22}^* & D_{23}^* \\ D_{13}^* & D_{23}^* & D_{33}^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서, w 는 판의 연직방향 처짐이며 적층 강성매트릭스 D_{ij}^* ($i, j = 1, 2, 3$)는 전환매트릭스 [T]를 이용하여 다음과 같이 얻어진다.

$$D_{11}^* = E_x \cos^4 \alpha + E_y \sin^4 \alpha + (2E_{x'y'} + 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \quad (10-1)$$

$$D_{22}^* = E_x \sin^4 \alpha + E_y \cos^4 \alpha + (2E_{x'y'} + 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \quad (10-2)$$

$$D_{12}^* = (E_x + E_y - 4G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + E_x E_y (\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha) \quad (10-3)$$

$$D_{33}^* = (E_x + E_y - 2E_x E_y - 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + G(\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha) \quad (10-4)$$

$$D_{13}^* = (E_x - E_y - 2G) \sin \alpha \cos^3 \alpha - (E_y - E_{x'y'} - 2G) \sin^3 \alpha \cos \alpha \quad (10-5)$$

$$D_{23}^* = (E_x - E_y - 2G) \sin^3 \alpha \cos \alpha - (E_y - E_{x'y'} - 2G) \sin \alpha \cos^3 \alpha \quad (10-6)$$

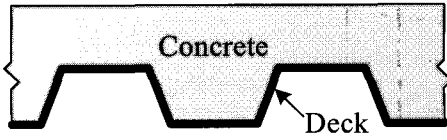
여기서, E_x , E_y 는 적층되는 각 개개의 판들이 주어지는 기준 축과 임의각도를 이룰 때의 재료 상수를 의미한다. 적층되어지는 개개의 판들이 축에 대하여 직교를 이루며 일체화되었다고 가정하는 경우, 식 (10)에서 α 가 90°를 이루므로 강성식이 간단하게 전개된다. 그리고 D_{13}^* 과 D_{23}^* 이 다른 식에 대하여 종속하므로 직교이방성판의 강성은 D_{11}^* , D_{22}^* , D_{12}^* 그리고 D_{33}^* 에 의하여 결정된다. 각각의 적층판이 직교를 이루는 직교이방성 적층판인 경우에 $D_{13}^* = 0$ 이며 $D_{23}^* = 0$ 이 된다. 적층판의 중앙면에 작용하는 휨모멘트에 대한 층의 강성식은 식 (11)과 같이 구할 수 있다.

$$D_{ij} = \frac{1}{3} [D_{ij}^*]_k (t_k^3 - t_{k-1}^3) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (11)$$

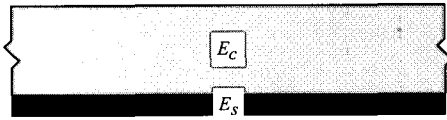
2.2.3 적층판 이론을 적용한 합성데크 바닥판 구조물의 강성 평가

콘크리트가 경화된 합성데크 바닥판 구조물은 그림 3 (b)와 같이 콘크리트재질(E_c)과 강재(E_s)로 이루어진 적층판구조로 생각할 수 있으며, 또한 그림 3 (c)와 같이 골방향과 골 직각 방향의 강성이 다른 직교이방성 적층판으로 생각할 수 있다.

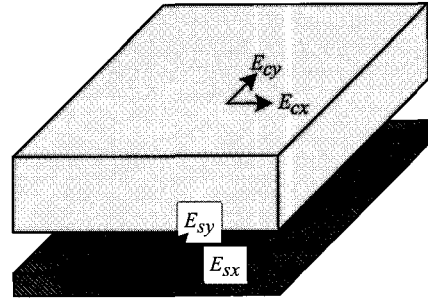
합성데크 바닥판 구조물을 해석할 경우에 적층판이론을 적용하면 정확한 해를 얻을 수 있으나 적층판 해석을 위한 프로그램이 필요하므로 엔지니어링 실무에서는 적층판이론을 적용하기가 번거롭다. 따라서 실무에서 간단하게 적용할 수 있으며 비교적 정확한 해를 얻을 수 있는 해석방법으로



(a) 합성데크 바닥판 구조물



(b) 합성데크의 적층판



(c) 합성데크의 직교이방성 적층판

그림 3 합성데크 바닥판의 직교이방성 적층판 구조

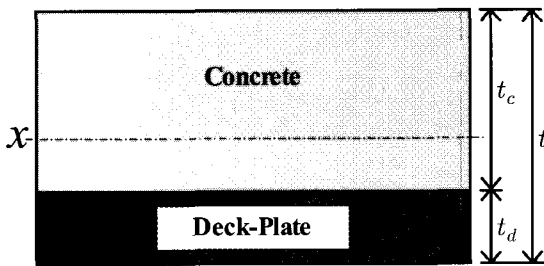


그림 4 이상화된 합성데크 바닥판

본 논문에서는 그림 4와 같이 콘크리트층과 데크플레이트층으로 합성된 합성데크 바닥판 구조물을 직교이방성 적층판으로 이상화하여 등가 강성식을 구하고자 한다.

그림 4에서 콘크리트층의 직교이방성 등가 두께(t_c)를 112.5mm로 가정하고 데크플레이트층의 직교이방성 등가 두께(t_d)를 2.1mm로 가정할 경우에 합성데크 바닥판의 강성은 다음과 같다.

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^2 [D_{ij}^*]_k (t_k^3 - t_{k-1}^3) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (12)$$

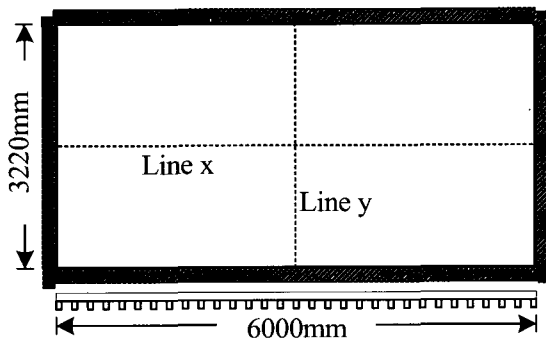
$$D_{ij} = \frac{1}{3} [D_{ij}^*]_{conc} [55.2^3 - (-57.3)^3] + \frac{1}{3} [D_{ij}^*]_{deck} [57.3^3 - (55.2^3)] \quad (13)$$

$$D = 118,776.4 \begin{bmatrix} D_{11}^* & D_{12}^* & D_{13}^* \\ D_{12}^* & D_{22}^* & D_{23}^* \\ D_{31}^* & D_{23}^* & D_{33}^* \end{bmatrix}_{conc} + 6,645.3 \begin{bmatrix} D_{11}^* & D_{12}^* & D_{13}^* \\ D_{12}^* & D_{22}^* & D_{23}^* \\ D_{31}^* & D_{23}^* & D_{33}^* \end{bmatrix}_{deck} \quad (14)$$

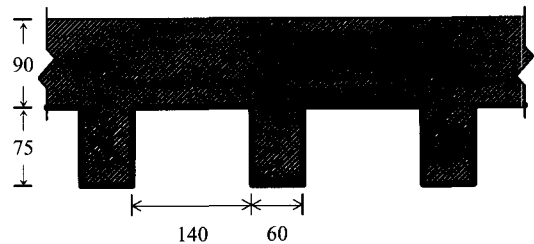
여기서 $[D_{ij}^*]_{conc}$ 는 콘크리트층의 강성매트릭스이며 $[D_{ij}^*]_{deck}$ 는 데크플레이트층의 강성매트릭스이다. 두 층의 직교이방성 강성매트릭스는 식 (6)과 식 (7)에 의하여 구할 수 있다.

3. 예제 합성데크 바닥판 구조물의 해석

합성데크 바닥판 구조물의 모듈, 적재하중 및 토핑 콘크리트 두께 등은 데크플레이트에 따라서 결정된다. 본 논문의 예제 합성데크 바닥판 구조물에는 ALK12 데크플레이트를 적용하였다.⁵⁾ 데크플레이트를 지지하는 철골 보의 골 방향 길이는 대략 3600mm이하이며 골 직각방향은 합성데크 바닥판 구조물이 일방향 바닥판 구조물이므로 바닥판 구조물의 크기에 관계없이 형성할 수 있다. 예제 합성데크 바닥판 구조물은 그림 5 (a)와 같이 크기가 3220mm×6000mm이며 경계조건은 4번고정으로 합성데크 바닥판의 단면은 그림 5 (b)와 같다.



(a) 예제 바닥판 구조물



(b) 바닥판 단면

그림 5 예제 합성데크 바닥판 구조물

Model A는 콘크리트를 입체요소로 데크플레이트를 판 요소로 모형화한 예제 구조물이며 Model B는 콘크리트와 데크플레이트를 판요소로 모형화한 것이다. Model C는 본 논문에서 제시한 모형화방법으로 직교이방성 적층판이론을 적용하여 예제 바닥판 구조물의 강성을 계산한 것으로 합성데크 바닥판을 하나의 판요소로 모형화한 것이다.

3.1 예제 합성데크 바닥판 구조물의 정적해석

예제 합성데크 바닥판 구조물의 모형화에 따른 강성을 비교 평가하기 위하여 바닥판 구조물의 정적해석을 수행하였다. 예제 바닥판 구조물의 Line x에 4.75tf/m의 등분포 하중을 가하여 골 방향 (Line y)과 골 직각 방향(Line x)의 처짐을 비교 분석하였다.

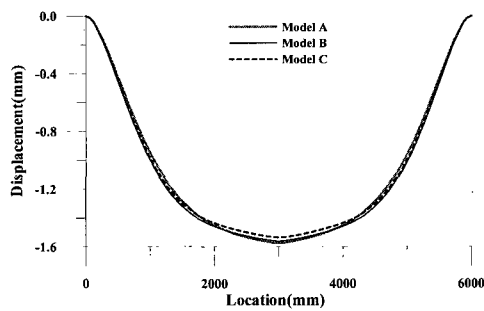
등분포 하중에 의한 예제 합성데크 바닥판의 골 방향과 골 직각 방향 처짐 양상이 다르게 나타나고 있다. 그림 6에서 합성데크 바닥판의 모형화에 따른 정적 처짐을 살펴보면, Model B와 Model C의 처짐이 Model A의 처짐

보다 약간 작게 나타나고 있으나 그 차이는 매우 미미한 것을 볼 수 있다. Model A의 처짐과 Model B의 처짐에 대한 차이는 합성데크 바닥판의 강성을 등가의 직교이방성 강성으로 치환하는데 있어서 나타나는 강성오차에 의한 것이며, Model B의 처짐과 Model C의 처짐에 대한 차이는 적층판을 단일판으로 변환하는데 있어서 나타나는 강성 오차에 의한 것이다. 그러나 예제 합성데크 바닥판의 정적 처짐은 모형화 방법에 관계없이 매우 비슷하게 나타나고 있다. 예제 합성데크 바닥판 구조물의 정적 처짐을 비교 분석한 결과, 본 논문에서 제시한 모형화 방법이 합성데크 바닥판 구조물의 강성을 제대로 평가하고 있는 것을 알 수 있다.

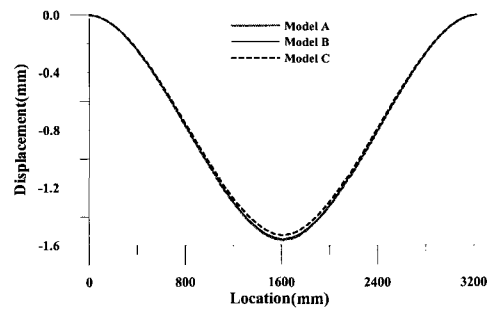
3.2 예제 합성데크 바닥판 구조물의 진동해석

3.2.1 고유진동수 및 진동모드

해석모델의 동적특성인 진동모드와 진동수에 따라서 진동응답이 다르게 나타나므로 예제 합성데크 바닥판 구조물

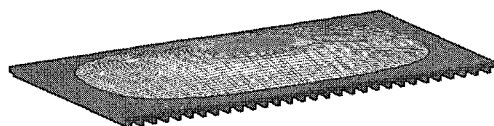


(a) 골 방향(Line x)의 처짐

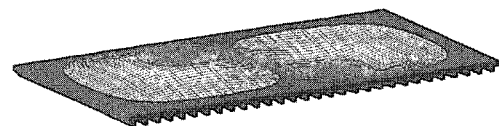


(b) 골 직각 방향(Line y)의 처짐

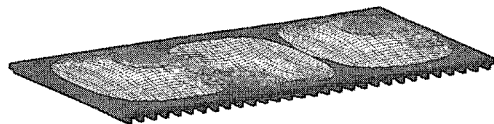
그림 6 정적해석에 의한 예제 합성데크 바닥판 구조물의 처짐



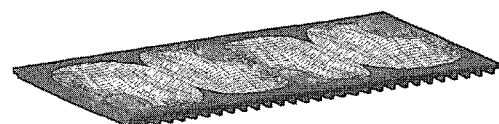
(a) 1차 모드



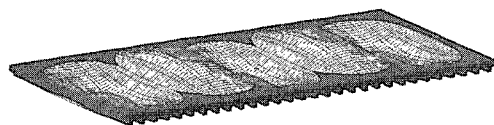
(b) 2차 모드



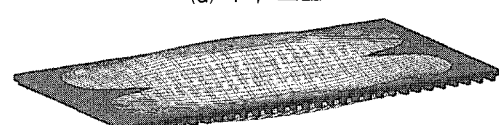
(c) 3차 모드



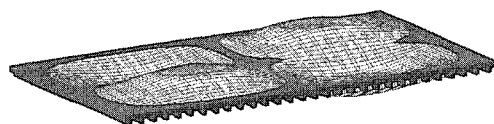
(d) 4차 모드



(e) 5차 모드



(f) 6차 모드



(g) 7차 모드



(h) 8차 모드

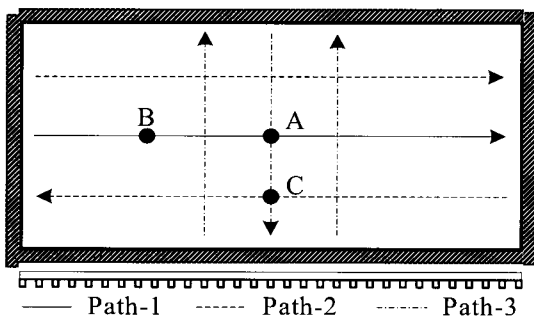
그림 7 예제 합성데크 바닥판 구조물의 진동모드

의 모형화 방법에 따른 진동모드와 진동수를 비교 분석하였다. 합성데크 바닥판을 입체요소와 판요소를 사용한 Model A의 진동모드는 그림 7과 같으며 전형적인 바닥판 구조물의 진동모드 형상을 보여주고 있다. 장변 방향의 강성이 단변 방향의 강성보다 작기 때문에 단변방향으로 굴곡이 나타나는 진동모드는 6차 모드에서 나타나고 있다. 합성데크 바닥판의 콘크리트와 데크플레이트를 판요소로 모형화한 Model B의 진동모드와 본 논문에서 제시한 방법으로 합성데크 바닥판을 단일판으로 모형화한 Mode C의 진동모드는 Model A의 진동모드인 그림 7과 같게 나타났다.

표 1은 예제 합성데크 바닥판 구조물의 모형화에 따른 모드 진동수를 나타낸 것으로 Model A, Model B 및 Model C의 진동이 같게 나타나고 있으며 모드 진동수도 매우 유사하게 나타났다. Model B의 모드 진동수는 1차 모드와 6차 모드 진동수를 제외하고 Model A의 모드 진동수보다 작게 나타나고 있다. 이는 예제 합성데크 바닥판의 강성을 등가 강성으로 변환하는 과정에서 Model B의 골 방향 강성이 Model A의 골 방향 강성보다 약간 크게 고려되기 때문이다. 정적해석에 의한 처짐에서 알 수 있듯이, Model C의 강성이 Model A의 강성보다 약간 크게 고려되기 때문에 Model C의 모드 진동수가 Model A의 모드 진동수보다 약간 크게 나타나고 있으나 그 차이는 2%미만으로 나타나고 있다.

표 1 예제 합성데크 바닥판 구조물의 모드 진동수 (단위: Hz)

Mode No.	Model A	Model B	Model C
1	50.72	50.99	51.44
2	57.00	56.78	57.27
3	69.74	69.07	69.77
4	89.87	89.06	90.31
5	117.97	116.45	118.75
6	134.37	136.18	136.09
7	140.95	140.86	140.93
8	152.54	149.83	153.25



(a) 보행경로

예제 합성데크 바닥판 구조물의 고유치해석 결과를 통하여 본 논문에서 제시한 모형화방법이 합성데크 바닥판 구조물의 강성과 질량을 비교적 정확하게 고려하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 모형화방법을 적용할 경우에 합성데크 바닥판 구조물의 진동해석을 실용적으로 수행할 수 있을 것이다.

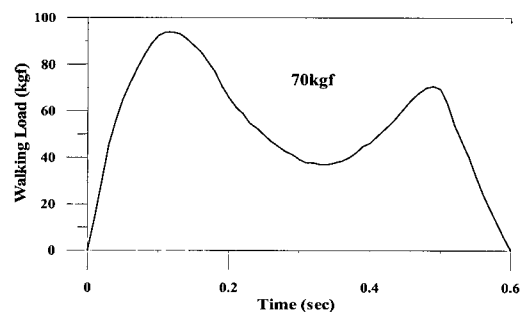
3.2.2 보행하중에 의한 진동응답

합성데크 바닥판 구조물은 주로 사무실용도의 건축물에 많이 활용되며 이러한 건축물에서는 사람의 움직임에 의한 진동이 야기되어 건축물의 사용성에 많은 영향을 주게 된다. 보행하중에 의한 합성데크 바닥판 구조물의 진동응답을 비교 분석하기 위하여 그림 8 (a)의 보행경로에 그림 8 (b)와 같은 보행하중을 가하였다.⁽⁶⁾ 보행하중은 보행진동수에 따라서 다르게 나타나므로 본 예제에서는 2.0Hz, 1.8Hz 그리고 1.5Hz의 다양한 보행하중을 적용하였다.⁽⁷⁾

그림 8 (a)는 보행자의 보행경로(Path)를 나타낸 것으로 Path-1은 한 보행자가 2.0Hz로 보행하는 것이며 Path-2는 두 보행자가 서로 반대방향으로 보행하는 것으로 한 보행자는 2.0Hz로 보행하며 나머지 한 보행자는 1.5Hz로 보행하는 경우이다. Path-3은 세 보행자가 보행하는 것으로 가운데 보행자는 1.8Hz로 보행하고 양 옆의 두 보행자들은 2.0Hz로 보행하는 것이다. 보행자에 따라서 보폭이 다르게 나타날 수 있으므로 Path-1과 Path-2에는 보폭을 80cm로 적용하였으며 Path-3에는 보폭을 63cm로 적용하였다.

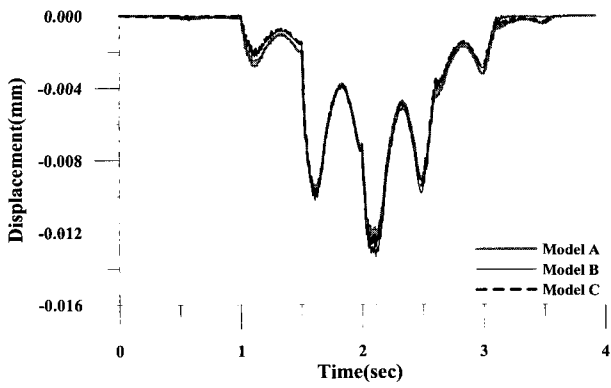
그림 9는 한명의 보행자가 2.0Hz의 보행진동수로 Path-1을 따라서 보행할 때 나타나는 변위응답으로 점 A의 변위응답과 점 B의 변위응답 양상이 유사한 것을 볼 수 있다. 그림 9 (a)를 살펴보면 보행자가 점 A를 지나가는 시각인 2.0초 부근의 대역에서 최대응답이 나타나고 있으며 그림 9 (b)에서는 보행자가 점 B를 지나가는 시각인 1.0초 부근의 대역에서 최대 변위응답이 나타나고 있다. 합성데크 바닥판의 모형화에 따른 Model A의 변위응답과 Model B, Model C의 변위응답이 매우 유사하다.

바닥판 구조물에 여러 사람이 다양하게 보행할 수 있으며 이로 인하여 진동응답의 양상이 한 사람의 보행에 의

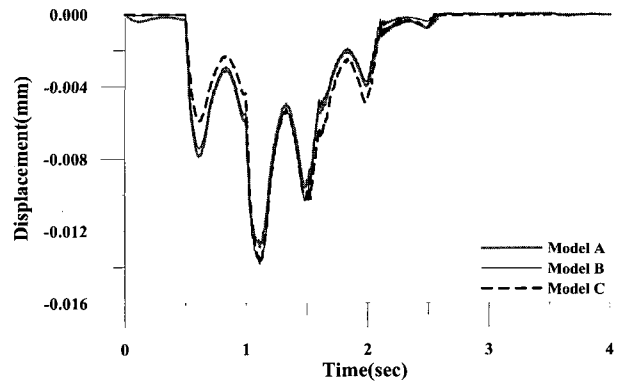


(b) 보행하중 (2.0Hz)

그림 8 보행하중 경로 및 보행하중

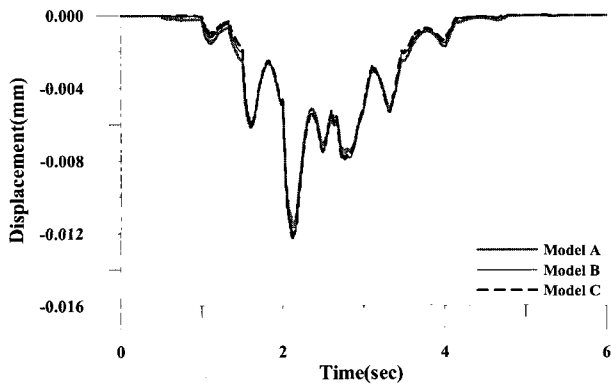


(a) 점 A의 변위응답

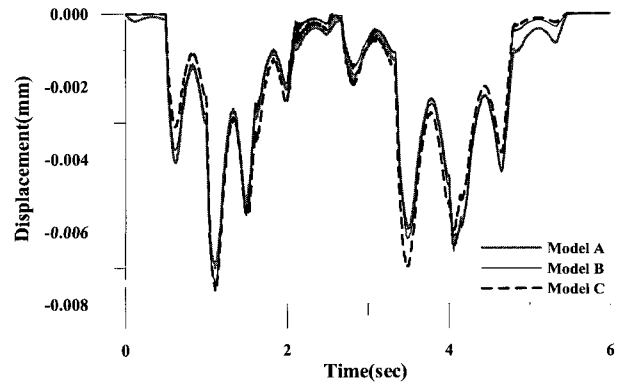


(b) 점 B의 변위응답

그림 9 한 보행자(Path-1)에 의한 예제 합성데크 바닥판 구조물의 진동응답

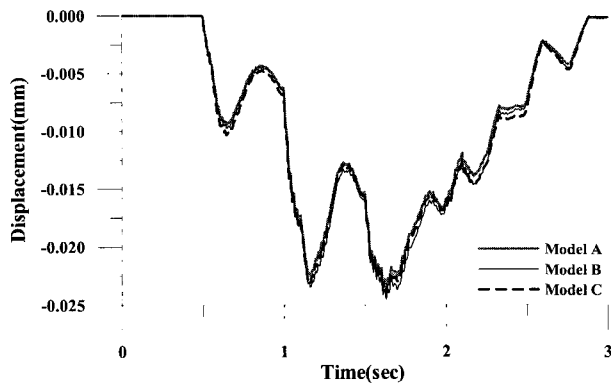


(a) 점 A의 변위응답

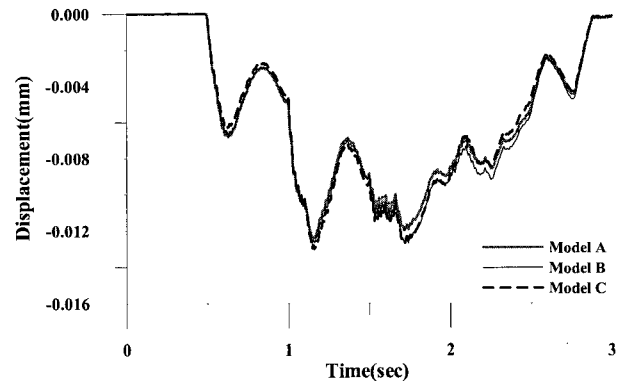


(b) 점 B의 변위응답

그림 10 두 보행자(Path-2)에 의한 예제 합성데크 바닥판 구조물의 진동응답



(a) 점 A의 변위응답



(b) 점 C의 변위응답

그림 11 세 보행자(Path-3)에 의한 예제 합성데크 바닥판 구조물의 진동응답

한 진동응답과 다르게 나타날 수 있다. 그림 10은 두 보행자가 Path-2를 따라서 서로 반대방향으로 보행진동수 2.0Hz와 1.5Hz로 각각 보행할 때 야기되는 진동응답이다. 그림 10 (a)는 점 A의 변위응답으로 한 보행자는 1.9초에 다른 한 보행자는 2.5초에 점 A를 지나므로 이 시간대역에서 진동응답이 크게 나타나고 있다. 그림 10 (b)는 점 B의 변위응답으로 두 보행자가 각각 점 B를 지나가는 시간이 0.9초와 3.7초이므로 이 시간대역에서 진동응답이 크게 나타나고 있다. 그림 9와 마찬가지로 Model A의 변위응

답과 Model B, Model C의 변위응답이 매우 유사하게 나타나고 있다.

그림 11은 세 보행자가 Path-3을 따라서 2.0Hz와 1.8Hz로 보행할 때 야기되는 예제 합성데크 바닥판 구조물의 변위응답이다. 보행자가 단변방향으로 보행하기 때문에 변위응답의 양상이 장변방향으로 보행하는 경우의 변위응답 양상과 다르게 나타나고 있다. 합성데크 바닥판 구조물의 모형화에 따른 Model A의 변위응답과 Model B, Model C의 변위응답이 매우 유사한 것을 볼 수 있다.

그림 9, 그림 10 그리고 그림 11에서 볼 수 있듯이 직교이방성 적층판 이론을 활용한 등가 강성식으로 합성데크 바닥판 구조물을 모형화하여도 비교적 정확한 진동응답을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 합성데크 바닥판의 모형화 방법을 활용할 경우에 합성데크 바닥판 구조물을 간단하게 모형화 할 수 있으며 요소수를 현저하게 줄일 수 있다. 그리고 비교적 정확한 진동응답을 얻을 수 있으므로 합성데크 바닥판 구조물의 효율적이며 실용적인 사용성 평가가 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는 합성데크 바닥판 구조물의 진동해석을 위한 실용적인 모형화 방법을 제시하였다. 합성데크 바닥판 구조물은 강성에 대하여 직교이방성을 가지고 있으며 상부 콘크리트와 하부 데크플레이트가 일체화되어 합성거동을 하게 된다. 합성데크 바닥판의 모형화에 있어서 직교하는 두 방향의 탄성계수를 다르게 하여 진동해석을 할 경우에 합성데크 바닥판 구조물의 일방향성 거동을 제대로 표현할 수 있다. 그리고 콘크리트와 데크플레이트가 합성된 바닥판 구조물의 강성평가에 있어서 적층판이론을 적용할 경우에 합성데크 바닥판의 강성을 제대로 고려할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 등가의 직교이방성 적층판 강성식을 이용하면 간단한 방법으로 합성데크 바닥판 구조물의 직교이방성 강성을 고려할 수 있으며 콘크리트와 데크플레이트의 합성거동을 제대로 표현할 수 있다.

본 연구에서는 합성데크 바닥판 구조물의 강성 평가에 있어서 해석적인 방법에 국한하여 연구를 수행하였다. 그

러나 본 연구에서 제안한 합성데크 바닥판 구조물의 바닥판 강성평가의 신뢰성을 검증하기 위해서는 실제 합성데크 바닥판 구조물에 대한 합성 전과 합성 후 동적특성 및 진동응답에 대한 평가가 필요하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김태윤, 김희철 “합성데크를 사용한 바닥판의 동적하중 이론식 개발”, 한국지진공학회 춘계학술대회 논문집, 1999, pp. 127-134.
2. 양근혁, 김대중, 이은택, 정현수 “구조용 데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 처짐제어를 위한 유효단면 2차모멘트 및 경간깊이 비 평가”, 대한건축학회 논문집 구조계, 20권 5호, 2004, pp. 19-26.
3. 김기철 “데크 바닥판 구조물의 실용적인 진동해석”, 한국전산구조공학회 논문집, 제18권 제1호 2005년 3월, pp. 61-69.
4. A.C. Ugural, *STRESS IN PLATES AND SHELLS*, McGraw-Hill, 1999, pp. 270-279.
5. 대한건축학회, 합성데크 바닥구조설계기준(안) 및 해설, 대한건축학회, 2002.
6. 김기철, 이동근 “보행하중을 받는 건축물 바닥판의 진동해석을 위한 등가 보행하중의 적용”, 한국지진공학회 논문집, 2001년 10월 pp. 35-45.
7. 김기철, 최근효, 이동근 “바닥판의 진동해석을 위한 보행하중의 모형화”, 한국전산구조공학회 논문집, 2002, pp. 173-187.