

# 합성데크 플레이트 바닥구조의 단면환산 단순화를 통한 고유진동수 예측식의 보정에 관한 연구

A Study on Modification of a Prediction Equation for the Natural Frequency of a Composite Deck Floor System through the Simplification of a Section Transformation

임 지 훈<sup>1)</sup> · 박 진 영<sup>2)</sup> · 홍 원 기<sup>3)</sup> · 김 희 철<sup>4)</sup>  
*Im, Ji Hoon Park, Jin Young Hong, Won Kee Kim, Hee Cheul*

**요 약 :** 바닥구조의 진동을 평가하는데 있어 기존의 고유진동수 예측식에 의한 방법이 많이 사용되어지고 있다. 그러나, 이러한 예측식들은 재료에 따른 구분이 없기 때문에 실제와는 다른 결과를 보이게 된다. 또한, 합성데크 플레이트 슬래브의 경우, 고유진동수를 예측하기 위해 슬래브의 단면을 환산해야 하는데, 각 데크 플레이트의 특성상 그 형태가 상이함으로 인하여 많은 어려움을 느끼게 된다. 따라서, 본 논문에서는 슬래브의 단면을 환산하기 위한 새로운 단순화된 방법을 제시하였다. 그리고, 실제 측정값과 가장 오차율이 적은 「LRFD」에 제안된 고유진동수 산출식을 보정하여 기존 예측식에 비해 약 14.3%의 오차율을 개선하는 새로운 예측보정식을 제안하고, 이에 대한 일반적인 적용가능성을 검증하였다.

**ABSTRACT :** The natural frequency of a system is commonly used in evaluating the serviceability condition of a floor. However, the current equations recommended in many building codes do not consider the various material types of a slab system; thus, different results are observed. Likewise, the transformation of a slab section required to predict the natural frequency of a composite deck plate is complicated, due to the varying shapes of the deck plates. Therefore, a new and simplified method of transforming a composite slab into an equivalent concrete slab is proposed. The modified vibration prediction equation was proposed based on the current vibration prediction equation recommended by LRFD. Compared to other equations, it is the closest to those obtained from experiments. The modified equation provides about 14.3% more accurate results than that recommended by LRFD. Likewise, the applicability of the proposed equation to other types of composite deck plate floor system was validated.

**핵심용어 :** 합성데크 플레이트 바닥구조, 고유진동수, 예측식, 바닥진동, 단면환산

**KEYWORDS :** Composite deck plate systems, Natural frequency, Prediction equation, Floor vibration, Section transformation

## 1. 서론

건물의 경량화와 장스팬화에 대한 요구는 철골건물의 사용을 촉진하고 있다. 하지만, 이러한 경향은 건물의 사용성에 문제를 야기시키고 있으며, 특히 진동의 경우, 많은 민원을 초래하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는

건물 설계의 초기단계에서부터 건물의 바닥 진동에 대한 사용성 평가가 이루어져야 한다.

바닥구조의 진동을 평가하는데는 여러 가지 방법들이 있으나 고유진동수의 산정에 의한 예측이 가장 많이 사용되어지고 있다. 그러나, 기존에 사용되고 있는 예측식의 경우, 건축재료에 따른 구분이 없기 때문에 실제 측정된 결과와 예측식간

1) 경희대학교 건축공학과 석사과정

2) 경희대학교 건축공학과 박사과정

3) 정희원, 경희대학교 토목건축공학부 조교수

4) 정희원, 경희대학교 토목건축공학부 부교수

본 논문에 대한 토의를 2003년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

에는 적지 않은 오차가 발생하고 있으며, 이러한 예측식에 의한 바닥구조의 사용성 평가 또한 실제와는 다른 결과를 나타내게 된다.

본 연구에서는 실제 시공되고 있는 건물의 바닥구조에 대한 고유진동수를 측정하고, 이러한 바닥구조의 고유진동수 예측식들로부터 얻어진 이론적인 값과 측정값을 비교 검토하였다. 측정결과 가장 오차율이 적은 예측식을 선정하고 이를 보정하여 새로운 예측식을 제안하고, 고유진동수를 예측하는데 있어 필수적인 슬래브의 단면 환산기법을 단순화하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

본 연구대상에서의 가정은 다음과 같다.

- ① 대부분의 철골보는 편접합이므로 경계조건은 단순지지로 가정하며, T형보의 유효폭은 보간격으로 한다.
- ② 합성 데크 플레이트 슬래브의 단면치환 시, 유효층은 콘크리트 토핑의 상부에서 각 데크 플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 하며, 추후 이를 보정하기로 한다.
- ③ 고유진동수에 영향을 미치는 여러 매개변수들 중 슬래브의 연속조건과 데크 플레이트의 두께 등은 제외하기로 한다.
- ④ 일반 철골 구조물 바닥판의 감쇄율은 고유진동수에 미치는 영향이 작으므로 무시하기로 한다.
- ⑤ 탄성계수는 할선 탄성계수와 접선 탄성계수 모두 고려하기로 한다.
- ⑥ 시공중인 마감이 없는 건물을 그 측정대상으로 하였으므로, 고유진동수 산정 시 고정하중만을 고려하는 것으로 한다.
- ⑦ 일반적으로 데크플레이트를 이용한 슬래브의 고유진동수는 7~25Hz<sup>(1)</sup>이므로, 고유진동수 측정시 이 범위내의 피크값을 1차 고유진동수로 본다.

## 2. 보 진동이론과 기존 고유진동수 예측식에 대한 고찰

### 2.1 보 진동이론<sup>(2)</sup>

그림 1은 휨강성이  $EI(x)$ 이고, 단위길이당 질량이  $m(x)$ 인 단순보를 나타낸다. 이 단순보는 공간좌표  $x$ 와 시간  $t$ 의 함수인 분포하중  $p(x,t)$ 를 받고 있으며, 하중에 의해  $u(x,t)$ 만큼의 처짐이 발생되고 있다. 그림 1의 비감쇠 자유진동에 관한 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( EI \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

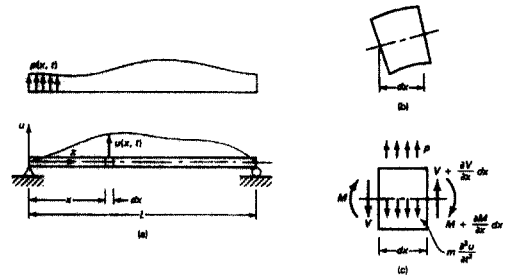


그림 1. 분포하중을 받는 단순지지보

식(1)을 변수분리하고, 전단면이 균일하다고 가정하면 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$-\frac{d^4 f(x)}{dx^4} - \beta^4 f(x) = 0 \quad (2)$$

식(2)의 일반 해는 다음과 같다.

$$f(x) = C_1 \cosh \beta x + C_2 \sinh \beta x + C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x \quad (3)$$

단순보의 경우, 경계조건은

$$@x=0, x=L \text{ 에서 } f(x)=0, EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 0$$

이므로, 이를 식(3)에 적용하여 보의 고유진동수를 산정하면 다음 식(4)와 같이 표현된다.

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{n^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

### 2.2 기존 고유진동수 예측식에 대한 고찰

국내외 기준에서 제안된 고유진동수의 예측에 관한 식들과 해외의 연구 결과에 의하여 제안된 고유진동수의 예측에 관한 식들은 다음과 같다.

#### 2.2.1 국내 기준

1) 「강구조 한계상태 설계기준 및 해설」<sup>(3)</sup>

(1) 「CEN EC 3/1」에 의한 고유진동수 예측식

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{9.869}{L^2} \sqrt{\frac{E_s I}{m}} \quad (5)$$

- $m$  : 단위길이당 질량 ( $kg/m$ )
- $E_s$  : 철골의 탄성계수 ( $kg/m^2$ )
- $I$  : T형보의 환산단면2차모멘트 ( $cm^4$ )
- $L$  : 보 스패น ( $cm$ )

(2) 「D.E.Allen & T.M.Murray」의 예측식

$$f_o = 0.18 \sqrt{g / (\Delta_j + \Delta_g)} \quad (6)$$

$\Delta_j$  : 보의 처짐,  $\Delta_g$  : 큰 보의 처짐 ( $cm$ )

2) 「합성데크 바닥구조 설계기준 및 해설」<sup>(4)</sup>

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.178 \sqrt{\delta}} < 15 \text{ Hz} \quad (7)$$

$\delta$  : 보의 처짐 ( $cm$ )

2.2.2 국외 기준

1) 「LRFD」에 의한 고유진동수 예측식<sup>(5)</sup>

(1) 보 진동식

$$f = 1.57 \left[ \frac{gE I_t}{WL^3} \right]^{1/2} \quad (8)$$

- $I_t$  : T형보의 환산단면2차모멘트 ( $cm^4$ )
- $E$  : 철골의 탄성계수 ( $kg/m^2$ )
- $W$  : 고정하중 + 적재하중의 10~25%
- $L$  : 보 스패น ( $cm$ )

(2) 보와 거더로 구성된 바닥구조의 진동식

$$\frac{1}{f_s^2} = \frac{1}{f_b^2} + \frac{1}{f_g^2} \quad (9)$$

- $f_s$  : 바닥구조의 고유진동수(Hz)
- $f_b$  : 보와 조이스트의 고유진동수(Hz)
- $f_g$  : 거더의 고유진동수(Hz)

2) 「AISC」에 의한 고유진동수 예측식<sup>(6)</sup>

앞에서 제시했던 「D.E.Allen & T.M.Murray」의 고유진동수 예측식과 동일하다.

3) 「Lenzen」의 고유진동수 예측식<sup>(7)</sup>

$$f_1 = 30.9 \sqrt{\frac{E_s I_t}{W_b L^3}} \text{ (Hz)} \quad (10)$$

- $I_t$  : T형보 철골 단면2차모멘트 ( $in^4$ )
- $E$  : 철골의 탄성계수 ( $lb/in^2$ )
- $W_b$  : 보의 총 무게 ( $lb$ )
- $L$  : 보 스패น ( $in$ )

### 3. 슬래브 진동축정 및 기존 고유진동수 예측식과의 비교

#### 3.1 축정 대상구조물의 개요

축정 대상구조물은 시공중에 있는 6개의 건물을 선정하였으며, 축정 대상구조물 선정시 현재 제조되고 있는 데크 플레이트 중에서 가장 대표적인 것들을 고려할 수 있도록 하였고, 콘크리트 타설후 28일의 양생기간이 지나고 아직 마감이 되지 않은 건물을 선정하여 축정하였다. 각각의 축정 대상구조물의 바닥구조에 대한 개요는 표 1과 같다. 또한, 각 건물에 사용된 데크 플레이트의 유형은 그림 2와 같으며, 실제 축정 대상 건물의 바닥구조 시스템은 그림 3과 같다.

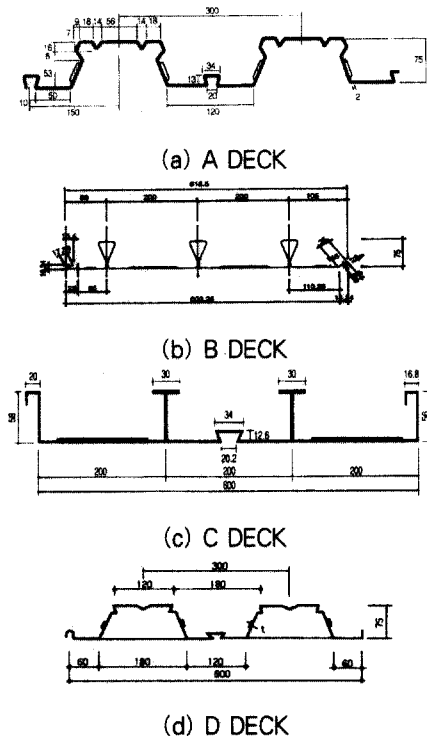


그림 2. 각 데크 플레이트의 형상

보와 바닥 슬래브의 고유진동수를 측정하기 위해 10kg의 모래주머니를 50cm의 높이에서 자유낙하시켜 고유진동수를 측정하였고, 각 구조요소에 대하여 FFT 분석과 1/3 옥타브 분석을 실시하였다.

### 3.3 측정결과

그림 3. 측정대상 건물의 바닥구조 시스템

표 1. 측정 대상구조물의 바닥구조 개요

측정 건물	CA SE	보길이 (cm)	보간격 (cm)	토펅 두께 (mm)	CON'C 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	데크플레이트유형	중간 보의 개수
J 건물	1	800	260	130	270	A	2
	2	800	223.3	130	270	A	2
	3	800	223.3	130	270	A	2
	4	800	263.3	130	270	A	2
	5	410	263.3	130	270	A	2
	6	800	223.3	100	270	A	2
	7	800	260	100	270	A	2
H 건물	8	1375.5	250	100	240	A	2
	9	785	250	100	240	A	2
	10	785	375	100	240	A	1
	11	775	375	100	240	A	1
	12	1375.5	375	100	240	A	1
	13	785	375	100	240	A	1
M 건물	14	940	250	77	240	C	2
	15	660	250	77	240	C	2
G 건물	16	1100	285	75	210	B	3
	17	1100	280	75	210	B	2
	18	640	280	75	210	B	2
D 건물	19	890	280	60	240	B	2
	20	660	280	60	240	B	2
	21	660	330	60	240	B	1
K 건물	22	780	260	100	240	D	2
	23	780	260	100	240	D	2
	24	1440	260	100	240	D	2
	25	780	285	100	240	D	1
	26	780	285	100	240	D	1

### 3.2 측정장비의 제원 및 방법

진동측정에 사용된 장비의 제원은 다음과 같다.

표 2. 측정 장비 목록

장비명	제조사	제품명	특성
주파수분석기	Scientific Atlanta	SA390	채널수:4CH
진동 센서	DYTRAN	3191A	5110mV/g
충격하중		모래주머니	10kg

표 3과 그림 4는 보와 슬래브에 대한 FFT 분석과 1/3 옥타브 분석을 보여준다. 본 논문에서는 모래주머니와 같은 충격진동을 이용하였으므로, 1/3 옥타브 분석결과로 나온 고유진동수를 사용하기로 한다.<sup>(8)</sup>

보와 슬래브의 고유진동수를 측정한 결과, 동일한 고유진동수를 나타내었으며, 따라서 보의 동역학적 이론에 근거한 고유진동수 예측식에 의해 바닥구조의 고유진동수를 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

표 3. 보와 바닥 슬래브의 고유진동수 측정결과 (Hz)

측정 건물	CA SE	보의 고유진동수		슬래브의 고유진동수	
		FFT	1/3 OCT	FFT	1/3 OCT
J 건물	1	13.21	12.50	13.19	12.50
	2	15.25	16.00	15.25	16.00
	3	17.96	16.00	18.12	16.00
	4	13.25	12.50	13.25	12.50
	5	24.92	25.00	24.96	25.00
	6	19.31	20.00	19.31	20.00
	7	13.38	12.50	13.44	12.50
H 건물	8	9.61	10.00	9.61	10.00
	9	15.90	16.00	15.81	16.00
	10	13.52	12.50	13.55	12.50
	11	14.35	16.00	14.40	16.00
	12	9.12	10.00	9.08	10.00
	13	12.72	12.50	12.69	12.50
M 건물	14	8.63	8.00	8.61	8.00
	15	11.88	12.50	11.94	12.50
G 건물	16	7.56	8.00	7.58	8.00
	17	10.83	10.00	10.77	10.00
	18	14.50	16.00	14.45	16.00
D 건물	19	9.55	10.00	9.57	10.00
	20	11.60	12.50	11.52	12.50
	21	13.97	12.50	13.96	12.50
	22	15.81	16.00	15.82	16.00
K 건물	23	14.95	16.00	15.08	16.00
	24	8.64	8.00	8.65	8.00
	25	17.78	16.00	17.74	16.00
	26	17.76	16.00	17.78	16.00

표 4. 기존 고유진동수 예측식에 의한 고유진동수 (Hz)

측정 건물	CA SE	CEN EC 3/1	LRFD		AISC	Lenzen	합성데크 설계기준
			보	바닥 구조			
J 건물	1	11.68	11.68	8.27	4.84	17.42	15.12
	2	10.84	10.84	8.90	6.38	16.16	20.50
	3	12.36	12.36	9.67	6.46	18.44	20.50
	4	11.62	11.62	8.15	4.72	17.34	14.74
	5	27.08	27.08	13.64	4.89	40.39	14.74
	6	12.69	12.69	9.93	6.04	18.92	17.35
	7	11.99	11.99	8.49	4.47	17.88	12.80
H 건물	8	7.94	7.94	6.55	4.90	11.84	13.40
	9	13.31	13.31	8.64	4.74	19.85	13.40
	10	12.67	12.67	7.68	4.75	18.90	6.10
	11	13.00	13.00	7.79	4.75	19.39	6.10
	12	6.91	6.91	5.62	4.72	10.31	6.10
	13	11.35	11.35	7.4	4.81	16.92	6.10
M 건물	14	8.60	8.60	6.61	4.34	12.83	9.72
	15	12.09	12.09	8.66	4.47	18.03	9.72
G 건물	16	7.23	7.23	4.32	1.97	10.78	8.29
	17	7.27	7.27	5.43	3.48	10.85	8.59
	18	15.25	15.25	7.18	3.45	22.75	8.59
D 건물	19	10.84	10.84	6.75	3.39	16.17	8.04
	20	14.63	14.63	7.48	3.42	21.82	8.04
	21	13.73	13.73	8.96	5.32	20.47	5.79
K 건물	22	13.21	13.21	9.21	4.94	19.70	11.30
	23	11.57	11.57	9.10	5.01	17.26	11.30
	24	6.40	6.40	5.54	4.41	9.54	11.30
	25	12.77	12.77	10.10	7.94	19.04	9.41
	26	14.64	14.64	12.30	8.90	21.84	9.41

그림 4. 고유진동수 측정결과 (H건물 CASE 13)

### 3.4 기존의 고유진동수 예측식에 의한 고유진동수 산정

측정건물의 각 경우에 대하여 기존에 제시된 고유진동수 예측식을 적용하여 고유진동수를 산정하면 표 4와 같은 결과를 얻게 된다.

### 3.5 고유진동수 예측식과 측정결과의 비교

기존 고유진동수 예측식에 의한 값과 측정값을 비교해 본 결과, 「LRFD」의 바닥구조 예측식과 「AISC」의 예측식은 측정값보다 저평가하고 있으며, 「Lenzen」의 예측식은 고평가하는 경향을 보였다. 한편, 「LRFD」의 보 예측식과 「CEN EC 3/1」의 예측식은 대체로 다른 예측식들에 비해 실측값과의 오차가 적음을 알 수 있었다. 또한, 「합성데크 설계기준(안)」의 경우, 보의 길이를 고려하고 있지 않기 때문에 고유진동수 예측식으로는 부적절하다고 판단된다. 따라서, 「LRFD」에 명시된 보에 대한 고유진동수 예측식을 기준으로 하여, 측정값과 가장 근접한 새로운 고유진동수 예측식을 제안하고자 한다.

## 4. 데크 플레이트의 고유진동수 변화율에 따른 보정계수 산출

### 4.1 각 데크 플레이트의 매개변수에 따른 고유진동수의 변화

바닥판의 고유진동수를 변화시킬 수 있는 매개변수로는 유효폭, 보의 길이, 탄성계수, 보의 단면2차모멘트, 콘크리트 토핑두께 등이 있다. 각각의 매개변수에 따른 각 데크 플레이트의 고유진동수 변화율을 살펴보기 위해 표 5와 같은 조건을 가정하였다. 이는 특정 매개변수의 조건을 변화시킬 경우

표 5. 매개변수에 대한 가정

매개변수	기준	변화범위
유효폭 (cm)	250	230,240,250,260,270
보의 길이 (cm)	700	600,650,700,750,800
탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	240	210,240,270,300
보 단면 (mm)	H-446×199×8×12	H-346×174×6×9 H-396×199×7×11 H-446×199×8×12 H-450×200×9×14 H-500×200×10×16
토픽두께 (mm)	100	70,80,90,100,110,120,130

다른 매개변수들은 기준이 되는 값을 가지게 함으로써, 특정 매개변수에 대한 고유진동수의 변화율을 알아보기 위함이다.

각 데크 플레이트에 대하여 매개변수에 따른 고유진동수의 변화율을 살펴보면 다음과 같다.

과는 가정에서 유효층을 콘크리트 토핑 상부에서 데크플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 간주하였기 때문에 발생하는 결과로 보이며, 따라서 고유진동수 예측식에 의한 계산값을 보정해 줄 필요가 있다.

#### 4.2 보정계수의 산출

그림 5. 유효폭의 변화에 따른 고유진동수의 변화율

유효층의 가정에 의해 발생한 고유진동수의 오차를 일치시키기 위해 예측식에 의한 값과 측정값간에 오차가 가장 적은 데크 플레이트 C를 기준으로 토핑두께에 따른 고유진동수의 변화율을 보정하기로 한다. 보정한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 보정계수

그림 6. 보 길이의 변화에 따른 고유진동수의 변화율

데크 종류	TOPPING 두께 (mm)						
	70	80	90	100	110	120	130
A	0.9941	0.9957	0.9974	1	1.0014	1.0037	1.0047
B	1.0075	1.0045	1.0019	1	0.9974	0.9960	0.9941
C	1	1	1	1	1	1	1
D	0.9951	0.9967	0.9980	1	1.0009	1.0025	1.0036

그림 7. Con'강도 변화에 따른 고유진동수의 변화율

표 6에 제시된 보정계수를 토핑두께에 따라 「LRFD」의 보 진동식에서 구한 값에 곱해주어야 한다. 그러나, 표 6에서 보는 바와 같이 보정계수가 거의 '1'에 가까우므로, 계산의 편의상 가정된 유효층을 사용하여 구한 예측식의 값을 그대로 사용하여도 무리가 없을 것으로 보인다. 즉, 단면환산 과정을 단순화시키기 위해 유효층을 콘크리트 토핑 상부에서 각각의 데크 플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 보고 단면을 환산하는 것이 합리적이라 판단된다.

그림 8. I값(보단면)의 변화에 따른 고유진동수의 변화율

### 5. 고유진동수 예측식 산출

그림 9. 토핑 두께의 변화에 따른 고유진동수의 변화율

그림 5 ~ 그림 9에 나타난 바와 같이, 토핑두께에 따른 고유진동수의 변화율을 제외하고 다른 매개변수들의 경우 각 데크 플레이트에 대한 고유진동수의 변화율이 거의 동일한 값을 가짐을 알 수 있었다. 고유진동수의 변화율은  $\sqrt{I/M}$ 에 비례하므로, 토핑두께를 변화시켰을 때 이들의 변화를 살펴보면, 단면2차모멘트의 변화율은 거의 동일한 값을 가졌으나, 질량의 변화율에 있어 약간의 차이를 보이고 있었다. 즉, 질량의 변화는 콘크리트 질량의 변화를 의미하며, 이는 유효층의 변화에 따른 고유진동수의 변화로 볼 수 있다. 이러한 결

앞에서 살펴본 매개변수들은 독립변수가 되지 못하고 서로 간에 상관관계를 가지면서 변하게 되며, 결국 탄성계수, 보의 단면2차모멘트, 보의 길이, 질량 등의 변수에 종속되어진다. 이러한 변수들간의 관계는 기존의 예측식에 있는 매개변수들로부터 추론해 낼 수 있으므로, 다음과 같이 7가지의 경우를 그 대상으로 삼기로 한다.

표 7. 독립변수들을 조합한 새로운 매개변수

1	2	3	4	5	6	7
$\frac{EI}{L}$	$\sqrt{\frac{EI}{L^4}}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	$\frac{EI}{mL}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL^3}}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL}}$	$\sqrt{\frac{EI}{L}}$

또한, 각각의 매개변수에 대해 다음의 조건을 고려하기로 한다. 이는 위의 독립변수들 중 탄성계수와 단면2차모멘트에 있어서 그 값을 달리 적용할 수 있기 때문이다.

표 8. 각 CASE별 탄성계수와 단면2차모멘트의 구분

CASE	기존의 예측식	보정식	
	단면환산시	탄성계수	단면2차모멘트
1	접선탄성계수 이용	접선탄성계수	철골 환산
2	할선탄성계수 이용	할선탄성계수	콘크리트 환산
3	접선탄성계수 이용	접선탄성계수	콘크리트 환산
4	할선탄성계수 이용	할선탄성계수	철골 환산

각 CASE별로 위의 7개의 매개변수에 대한 실측값/보정값을 회귀분석을 통해 보정식을 산출하고 기존의 예측식에 적용하여 오차율을 살펴보았다. 표 7의 매개변수 4를 이용한 CASE 1의 경우가 각각의 매개변수에 따른 CASE들과 비교하여 가장 적합한 결과를 보였으며, 그 결과 보정전에는 -29.3%~20.7%(50.0%)의 오차율 범위에서 보정후에는 -13.6%~22.1%(35.7%)의 오차율 범위로 14.3%가 개선되었다.

CASE 1의 회귀분석 결과는 그림 10과 같다.

그림 10. CASE 1의 회귀분석 결과 (EI/mL)

따라서, 기존의 고유진동수 예측식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f = 1.57 \sqrt{\frac{gEI}{W_D L^3}} \times \left\{ 0.3105 \ln\left(\frac{E_t I}{mL}\right) - 5.8285 \right\} \quad (11)$$

위 식에서,  $E$  : 철골탄성계수,  $E_t$  : 할선탄성계수

$W_D$  : 고정하중,  $m$  : 단위길이당 질량

$I$  : 철골환산 단면2차모멘트

$L$  : T형보의 스패

## 6. 제안식의 타당성 검증

### 6.1 검증 대상구조물의 개요

본 연구에서 제안된 고유진동수 예측식은 특정 모집단에 대한 고유진동수 측정값을 통해 회귀분석으로 유도된 실험식이므로, 이러한 모집단 이외의 바닥구조에 대한 적용타당성을

표 9. 검증을 위한 대상구조물의 바닥구조 개요

측정 건물	CA SE	보 길이 (cm)	보 간격 (cm)	토핑두께 (mm)	콘크리트강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	데크플레이 트의 유형
CJ건물	1	1180	355	80	240	A
	2	1180	275	80	240	A
	3	1180	275	80	240	A
	4	550	275	80	240	A
	5	940	275	80	240	A
	6	550	191.3	100	240	A
TK건물	7	720	270	80	240	A
NT건물	8	780	260	100	240	D
HG건물	9	600	300	80	240	A
	10	1350	300	80	240	A
SS건물	11	1350	300	80	240	A
ST건물	12	900	300	65	240	D
DY건물	13	1300	310	90	240	D
GB건물	14	900	300	65	240	D
JJ건물	15	870	350	100	240	D
CG건물	16	1320	300	90	240	D

검증해야 할 필요가 있다. 따라서, 표 9에서와 같이 마감이 되지 않은 10개의 대상 구조물을 선정하였다.

### 6.2 제안된 고유진동수 예측식과 측정값의 비교

표 10, 그림 11은 검증 대상구조물의 고유진동수 측정결과와 「LRFD」의 보 진동식에 의한 결과, 그리고 본 논문에서 제안하고 있는 고유진동수 예측식에 의한 결과를 비교한 것이다.

표 10. 측정결과와 기존 예측식에 의한 결과, 그리고 제안된 보정예측식에 의한 결과의 비교

CASE	측정결과 (Hz)	기존예측식 (Hz)	오차율 (%)	보정예측식 (Hz)	오차율 (%)
1	8.00	7.62	-4.75	8.60	7.54
2	10.0	8.37	-16.30	9.94	-0.62
3	10.0	8.05	-19.50	9.41	-5.94
4	25.0	23.99	-4.04	27.14	8.56
5	12.5	10.82	-13.44	12.29	-1.72
6	31.5	26.83	-14.83	32.34	2.67
7	10.0	12.29	22.90	11.89	18.88
8	10.0	11.11	11.10	10.92	9.20
9	16.0	15.91	-0.56	15.24	-4.78
10	8.00	6.54	-18.25	7.59	-5.09
11	8.00	6.19	-22.63	6.98	-12.75
12	8.00	8.81	10.13	8.52	6.55
13	8.00	6.77	-15.38	7.78	-2.78
14	12.5	11.67	-6.64	13.31	6.48
15	12.5	10.75	-14.00	11.45	-8.41
16	8.00	6.33	-20.88	7.09	-11.33

그림 11. 기존식과 제안된 보정식에 의한 결과의 비교

위에서 보는 바와 같이, 기존 고유진동수 예측식의 오차율 범위(-22.6~22.9%)보다 제안된 예측식은 오차율 범위(-12.8~22.1%)에서 훨씬 더 개선된 것을 알 수 있다. 검증 을 실시한 16개의 슬래브 중 3가지 경우가 기존의 예측식에 미치지 못하는 결과를 보였으나, 이는 제안된 고유진동수 예측식이 진동특성에 의한 회귀분석에 의하여 유도된 식이기 때문에 발생한 결과로 보여지며, 전체적으로 볼 때 기존의 예측식에 비하여 더 나은 예측값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 7. 결론

현재 시공중에 있는 6개의 건물 바닥 27개소에 대한 고유진동수를 측정하여 합성구조 바닥판의 적합한 고유진동수 산출을 위한 식을 제안하였다. 제안된 식은 LRFD에 제시된 식을 수정하였으며 본 연구의 결과로 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 합성 데크 플레이트 바닥구조의 경우, 보와 슬래브의 고유진동수가 동일하게 나타나므로, 기존의 동역학적 이론에 의한 보의 고유진동수 예측식에 의해 바닥구조의 고유진동수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.
- (2) 합성데크 플레이트 슬래브의 단면 환산 시 유효층을 콘크리트 토핑상부에서 각 데크 플레이트의 중립축까

지의 거리로 보는 것은 계산상의 편리와 더불어 합리적이라는 것을 알 수 있다.

- (3) 기존에 제시된 예측식들 중 실제 측정값과 가장 오차율이 적은 보의 동역학적 이론에 근거한 「LRFD」의 보 진동식을 이용하여 이를 보정한 결과, 제안된 식은 총 오차율이 50.0%에서 35.7%로 약 14.3%가 개선되었다. 또한 제안된 식을 다른 형태의 슬래브에 적용한 결과 제안된 고유진동수 예측식은 일반적인 적용타당성이 있음이 입증되었다.

향후 지속적인 연구를 통하여 보다 개선된 예측식에 대한 제안이 요구된다.

### 참고 문헌

1. 정광량, 1995.6, "데크플레이트 슬래브의 처짐과 진동수", 한국강구조학회지 제7권 2호, pp.61~67
2. J. L. Humar, 1990, Dynamics of Structures, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
3. 대한건축학회, 1998, 강구조 한계상태 설계기준 및 해설, 기문당.
4. 대한건축학회, 1998, 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설
5. AISC, 1994, Load & Resistance Factor Design, 2nd Ed. Vol 1.
6. AISC, 1998, Steel Design Guide Series 11 : Floor Vibrations - Due to Human Activity.
7. D. L. Allen, 1974, "Vibrational Behavior of Long-Span Floor Slabs", Canadian J. of Civil Engineering, Vol. 108, No. 1, pp. 108~115.
8. 日本建築學會, 1982, 鐵筋コンクリート構造計算準

(접수일자 : 2002년 3월 7일)