

합성 데크 플레이트 바닥구조의 단면환산 단순화를 통한 고유진동수 예측식의 보정에 관한 연구

A Study on Adjustment of Prediction Equation for Natural Frequency Using the Simplification of Section Transformation Method of Composite Deck Plate Floor Systems

⁰임지훈* · 김희철** · 홍원기***
Im, Ji-Hoon Kim, Hee-Cheul Hong, Won-Kee

Key Words : Composite deck plate floor systems(합성 데크 플레이트 바닥구조), Natural frequency(고유진동수), Prediction equation(예측식), Floor vibration(바닥진동), Section transformation(단면환산)

ABSTRACT

The conventional techniques for the prediction of natural frequency are often used to estimate the floor vibration. However, the predicted frequency differs significantly from the measured one since the predicted equation is not able to properly treat various material type. Transformation of slab section is necessary to predict natural frequency of composite deck plate, and this effort is complicated due to the various shape of each deck plate.

In this study, a new simplified methodology to transform slab section is proposed, which treats effective depth as the distance from the top of a concrete topping to neutral axis of each deck plate. Finally proposed equation with fairly reasonable result compared to the measured values is obtained, based on the modification of vibration equation from LRFD theory. This efforts enhance errors in predicting frequency up to 15%.

1. 서론

건물의 경량화와 장스팬화에 대한 요구로 인하여 철골 건물이 증가하고 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 있으며, 그 중 고유진동수 예측식에 의한 방법이 많이 사용되어지고 있다. 하지만, 기존의 예측식의 경우, 건축재료에 따른 구분이 없기 때문에 실제 측정된 결과와

예측식간에는 적지 않은 오차가 발생하고 있으며, 이러한 예측식에 의한 바닥구조 진동의 사용성 평가 또한 실제와는 다른 결과를 나타내게 된다.

또한, 합성데크 플레이트 슬래브의 경우, 고유진동수를 예측하기 위해서는 콘크리트나 철골로 슬래브의 단면을 환산해야 하는데, 각 데크 플레이트의 특성상 그 형태가 상이함으로 인하여 단면을 환산하는데 있어서 많은 어려움을 느끼게 된다.

따라서, 본 논문에서는 실제 시공되고 있는 건물의 바닥구조에 대한 고유진동수를 측정하고, 이러한 바닥구조의 고유진동수 예측식들로부터 구한 이론값과 측정값을 비교 검토하여, 이 중에서 가장 오차율이 적은 예측식을 선정하여 이를 보정하는 새로운 예측식을 제안하고, 고

* 경희대학교 건축공학과 석사과정

** 경희원, 경희대학교 토목건축공학부 부교수

*** (주) 에스텍 컨설팅 그룹 대표, 공학박사

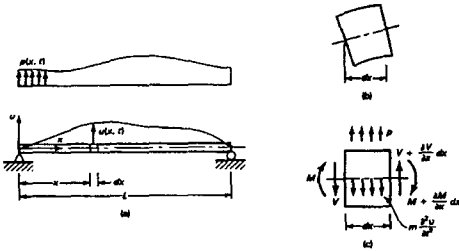
유진동수를 예측하는데 있어 필수적인 슬래브의 단면 환산기법을 단순화하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

본 연구대상에서의 가정은 다음과 같다.

- ① 대부분의 철골보는 편집합이므로 경계조건은 단순지기로 가정하며, T형보의 유효폭은 보간적으로 한다.
- ② 합성 데크 플레이트 슬래브의 단면치환시, 유효층은 콘크리트 토핑 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 5~10% 정도로 고유진동수에 미치는 영향이 작으므로 무시하기로 한다.
- ⑤ 탄성계수는 활선 탄성계수와 접선 탄성계수 모두 고려하기로 한다.
- ⑥ 시공중인 마감이 없는 건물을 그 측정대상으로 하였으므로, 고유진동수 산정시 고정하중만을 고려하는 것으로 한다.

2. 보 진동 이론과 기존 고유진동수 예측식 대한 고찰

2.1 보 진동이론⁽¹⁾



<Fig.1> Transverse vibrations of a beam

<Fig.1>은 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. <Fig.1>의 미소요소 dx 에 대한 힘의 평형방정식을 고려하고, 전단변형과 회전관성을 무시하는 경우 비감쇠 자유진동에 관한 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}) + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad \text{<Eq.1>}$$

<Eq.1>을 공간좌표 x 에 관한 함수와 시간에 관한 함수로 변수분리하고, 전단면이 균일하다고 가정하면 <Eq.2>와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d^4 f(x)}{dx^4} - \beta^4 f(x) = 0 \quad \text{<Eq.2>}$$

<Eq.2>의 일반해는 다음과 같다.

$$f(x) = C_1 \cosh \beta x + C_2 \sinh \beta x + C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x \quad \text{<Eq.3>}$$

단순보의 경우, 경계조건은

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

이므로, 이를 <Eq.3>에 적용하여 보의 고유진동수를 산정하면 다음 <Eq.4>와 같이 표현된다.

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

2.2 기존 고유진동수 예측식에 대한 고찰

2.2.1 국내 규준

(1) 「강구조 한계상태 설계기준 및 해설」⁽²⁾

㉠ 「CEN EC 3/1」에 의한 고유진동수 예측식

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E_s I}{m}} \quad \text{<Eq.5>}$$

m : 단위길이당 질량

α : 기본진동모드의 진동수 계수 (단순보 : 9.869)

㉡ 「D.E.Allen & T.M.Murray」의 예측식

$$f_0 = 0.18 \sqrt{g / (\Delta_j + \Delta_g)} \quad \text{<Eq.6>}$$

Δ_j : 보의 처짐 (cm), Δ_g : 큰 보의 처짐 (cm)

(2) 「합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설」⁽³⁾

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{KV \delta} < 15 \text{ Hz} \quad \text{<Eq.7>}$$

K : 0.178 (양단지지일 경우)

δ : 보의 처짐

$$\delta = n \frac{5}{384} \frac{\omega_{TL}}{E_s} \frac{l_x^4}{I_f} \quad \text{<Eq.8>}$$

ω_{TL} : 완성시의 전제하중 (kgf/cm^2)

l_x : 단변방향의 스패길이 (cm)

I_f : 합성슬래브의 등가단면2차모멘트 (cm^4)

2.2.2 국외 표준

(1) 「LRFD」에 의한 고유진동수 예측식⁽⁴⁾

① 보 진동식

$$f = K \left[\frac{gEI_f}{WL^3} \right]^{1/2} \quad \text{<Eq.9>}$$

K : 1.57 (단순지지보의 경우)

I_f : T형보의 환산단면2차모멘트

W : 고정하중 + 적재하중의 10~25%

② 보와 거더로 구성된 바닥구조의 진동식

이 식은 거더가 보나 조이스트에 비해 상대적으로 유연하거나 거더가 내민보를 지지하는 경우에 사용된다.

$$\frac{1}{f_s^2} = \frac{1}{f_b^2} + \frac{1}{f_g^2} \quad \text{<Eq.10>}$$

f_b : 보와 조이스트의 고유진동수

f_g : 거더의 고유진동수

(2) 「AISC Steel Design Guide Series 11」 예측식⁽⁵⁾

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

(3) 「Lenzen」의 고유진동수 예측식⁽⁶⁾

$$f_1 = 30.9 \sqrt{\frac{EI}{WL^3}} \text{ (Hz)} \quad \text{<Eq.11>}$$

E : 철골의 탄성계수 ($30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$)

I : 보간격을 유효폭으로 하는 T형보를 철골로 환산한 단면2차모멘트 (in^4)

W : 보의 총 무게 (lb), L : 보의 길이 (in)

2.2.3 기존 예측식에 대한 문제점 고찰

보의 동역학적 이론에서 유도된 기존의 고유진동수 예측식들은 다음과 같이 모두 같은 식에서 출발한다.

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} = \frac{1}{0.178\sqrt{\Delta}}$$

기존 고유진동수 예측식들을 유형별로 나누어 그 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

① 보 진동이론으로부터 유도된 보 진동식

보와 거더로 이루어진 바닥구조의 고유진동수를 예측

하는 경우 사용되어지며, 「Lenzen」의 예측식을 제외하고 「LRFD」의 보 진동식이나 「CEN EC 3/1」의 예측식은 표현형태만 다른 동일한 식임을 알 수 있다.

② 바닥구조의 시스템 진동식

보 진동식과 마찬가지로 보와 거더로 이루어진 바닥구조의 고유진동수를 예측하는데 사용되지만, 「LRFD」의 바닥구조 진동식에서처럼 특정 조건하에서 사용되어지므로, 그러한 조건하에서 사용되지 않을 경우 실제 고유진동수와의 많은 차이를 가지게 됨을 예상할 수 있다.

③ 슬래브의 처짐을 이용한 진동식

「합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설」에서 제시한 예측식의 경우, 보의 길이에 대한 고려가 없고 탄성계수비를 일률적으로 '10'으로 가정하기 때문에 이를 이용하여 고유진동수를 산정한다는 것은 불합리하다.

④ 보와 거더의 처짐을 고려한 진동식

「D.E.Allen & T.M.Murray」의 예측식과 「AISC」의 예측식에서와 같이 보의 처짐을 고려한 진동식에 보의 처짐 대신 보와 거더의 처짐을 동시에 고려하였기 때문에 보의 진동식으로 구한 고유진동수보다 훨씬 더 적은 값이 나오리라 예상할 수 있다.

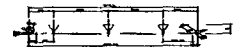
3. 슬래브 진동측정 및 기존 고유진동수 예측식과의 비교

3.1 측정 대상구조물의 개요

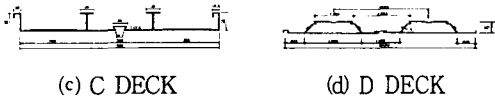
측정 대상구조물은 시공중에 있는 6개의 건물을 그 대상으로 하였으며, 측정 대상구조물 선정시 가능한 한 여러 데크 플레이트를 고려할 수 있도록 하였고, 콘크리트 타설후 28일의 양생기간이 지나고 아직 마감이 되지 않은 건물을 선정하여 측정하였다. 각각의 측정 대상구조물의 바닥구조에 대한 개요는 <Table.1>과 같다. 또한, 각 건물에 사용된 데크 플레이트의 유형은 <Fig.2>와 같으며, 실제 측정대상 건물의 바닥구조 시스템은 <Fig.3>과 같다.



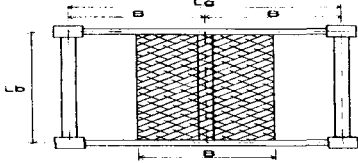
(a) A DECK



(b) B DECK



<Fig.2> Deck plate's types



<Fig.3> Floor systems

<Table.1> Estimated floor system's outline

측정 건물	CA SE 종류	보 길이 (cm)	보 간격 (cm)	토평 두께 (mm)	CON'C강도 (kg/cm ²)	데크플 레이트 유형
J 건물	1	800	260	130	270	A
	2	800	223.3	130	270	A
	3	800	223.3	130	270	A
	4	800	263.3	130	270	A
	5	410	263.3	130	270	A
	6	800	223.3	100	270	A
	7	800	260	100	270	A
H 건물	8	1375.5	250	100	240	A
	9	785	250	100	240	A
	10	785	375	100	240	A
	11	775	375	100	240	A
	12	1375.5	375	100	240	A
	13	785	375	100	240	A
M 건물	14	940	250	77	240	C
G 건물	15	660	250	77	240	C
	16	1100	285	75	210	B
	17	1100	280	75	210	B
D 건물	18	640	280	75	210	B
	19	890	280	60	240	B
	20	660	280	60	240	B
	21	660	330	60	240	B
K 건물	22	780	260	100	240	D
	23	780	260	100	240	D
	24	1440	260	100	240	D
	25	780	285	100	240	D
	26	780	285	100	240	D

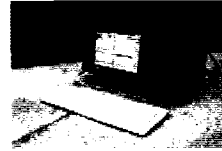
3.2 측정장비의 제원 및 방법

진동측정에 사용된 장비의 제원은 <Table.2>, <Fig.4> 그리고, <Fig.5>에 나타내었다.

<Table.2> Estimating equipment list

장비명	제조사	제품명	특성
주파수 분석기	Scientific Atlanta	SA390	채널수 : 4 CH.
진동 센서	DYTRAN	3191A	5110mV/g
충격하중		모래 주머니	10kg

보와 바닥 슬래브의 고유진동수를 측정하기 위한 방법으로는 충격진동원에 해당하는 10kg의 모래주머니를 사용하였으며, 이를 50cm의 높이에서 자유낙하시켜 각각의 구조요소를 자유진동시킴으로써 고유진동수를 측정하였다. 각각의 구조요소에 대하여 FFT 분석은 4회를 실시하였고, 1/3 옥타브 분석은 2회 실시하였으며, 측정결과를 평균하여 측정데이터로 이용하였다.



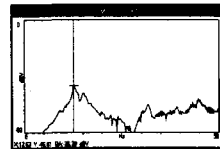
<Fig. 4> Frequency Analyzer (SA390)



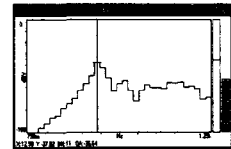
<Fig. 5> Acceleration sensor

3.3 측정결과

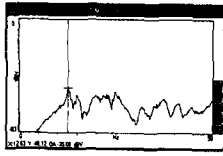
<Table.3>과 <Fig.6>에서 보여지는 바와 같이 보와 슬래브를 대상으로 FFT 분석과 1/3 옥타브 분석을 수행하였으며, 이는 보와 슬래브의 고유진동수가 일치하는지의 여부를 확인하기 위함이다. 또한, 모래주머니와 같이 충격진동이 발생하는 경우 많은 진동수 성분으로 이루어져 있기 때문에 1/3 옥타브 분석결과를 사용하는 것이 요구되어지므로⁽⁷⁾, 본 논문에서는 1/3 옥타브 분석결과로 나온 고유진동수를 사용하기로 한다.



(a) 보의 F.F.T 분석



(b) 보의 1/3 OCT 분석



(c) 슬래브의 F.F.T 분석



(d) 슬래브 1/3 OCT 분석

<Fig.6> The measured result of natural frequency

<Table.3> measured Beam & Slab's natural frequency (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
K 건물	22	15.81	16.00	15.82	16.00
	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

측정 대상구조물의 바닥구조에 대한 보와 슬래브의 고

유진동수를 측정해 본 결과, 동일한 고유진동수를 나타내었으며, 따라서 보의 동역학적 이론에 근거한 고유진동수 예측식에 의해 바닥구조의 고유진동수를 예측하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

3.4 기존의 고유진동수 예측식에 의한 고유진동수 산정

측정건물의 각각의 경우에 대하여 기존에 제시된 고유진동수 예측식을 적용하여 고유진동수를 산정하면 <Table.4>와 같은 결과를 얻게 된다.

<Table.4> natural frequencies obtained from prediction equation (Hz)

측정 건물	CA SE	CEN EC 3/1	LRFD		AISC	Lenzen	합성대 크설계 기준
			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

3.5 고유진동수 예측식의 결과와 측정결과와의 비교

기존 고유진동수 예측식에 의한 값과 측정값을 비교해 본 결과, 「LRFD」의 바닥구조 예측식과 「AISC」의 예측식은 측정값보다 저평가하고 있었으며, 「Lenzen」의 예측식은 고평가하는 경향이 뚜렷하였다. 한편, 「LRFD」의 보 예측식과 「CEN EC 3/1」의 예측식은 대체로 고유진동수를 저평가하고 있었으나, 일부는 고평가하는 경향도 있었다. 하지만, 다른 예측식들에 비해 실측값과의 오차가 적음을 알 수 있었다. 또한, 「합성데크 설계기준(안)」의 경우, 고유진동수의 변화에 민감한 매개변수인 보의 길이를 고려하고 있지 않기 때문에 고유진동수 예측식으로는 부적절하다고 판단되어진다.

따라서, 본 논문에서는 「LRFD」의 보에 대한 고유진동수 예측식을 기준으로 하여, 새로운 고유진동수 예측식을 제안하고자 한다.

4. 데크 플레이트의 고유진동수 변화율에 따른 보정계수 산출

4.1 각 데크 플레이트의 매개변수에 따른 고유진동수의 변화

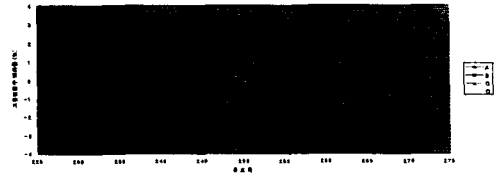
바닥판의 고유진동수를 변화시킬 수 있는 매개변수로 는 유효폭, 보의 길이, 탄성계수, 보의 단면2차모멘트, 콘크리트 토핑두께, 데크 플레이트의 두께, 보와 슬래브의 합성정도, 단부의 경계조건, 슬래브의 연속조건 등이 있다. 각각의 매개변수에 따른 각 데크 플레이트의 고유진동수 변화율을 살펴보기 위해 <Table.5>와 같은 조건을 가정하였다.

<Table.5> Assumption for parameters

매개변수	기준	가정조건
유효폭 (cm)	250	230,240,250,260,270
보의 길이 (cm)	700	600,650,700,750,800
탄성계수 (kg/cm ²)	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
토핑두께 (mm)	100	70,80,90,100,110,120,130
합성정도	1.0	0.6,0.7,0.8,0.9,1.0

즉, 특정 매개변수의 조건을 변화시킬 경우 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.



<Fig.7> Natural frequency variation by effective width



<Fig.8> Natural frequency variation by L



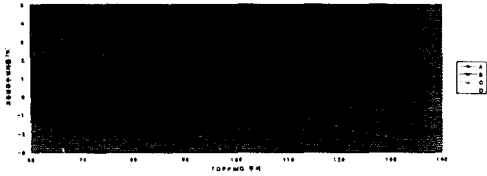
<Fig.9> Natural frequency variation by E



<Fig.10> Natural frequency variation by I



<Fig.11> Natural frequency variation by composite rate between beam & slab



<Fig.12> Natural frequency variation by concrete topping thickness

토퍼링두께에 따른 고유진동수의 변화율을 제외하고 다른 매개변수들의 경우 각 데크 플레이트의 고유진동수의 변화율이 거의 동일한 값을 가짐을 알 수 있었다. 고유진동수의 변화율은 $\sqrt{I/M}$ 에 비례하므로, 토퍼링두께를 변화시켰을 때의 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 결과는 가정에서 유효층을 콘크리트 토퍼링 상부에서 데크플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 보았기 때문에 발생하는 결과로 보여지며, 따라서 고유진동수 예측식에 의한 계산값을 보정해 줄 필요가 있다.

4.2 보정계수 산출

유효층의 가정에 의해 발생한 고유진동수의 오차율을 일치시키기 위해 예측식에 의한 값과 측정값간에 오차율이 가장 적은 데크 플레이트 C를 기준으로 토퍼링두께에 따른 고유진동수의 변화율을 보정하기로 한다. 보정된 결과는 <Table.6>과 같다.

<Table.6> Coefficient adjustment by concrete topping thickness

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

위에 제시된 보정계수를 토퍼링두께에 따라 「LRFD」의 보정진동식에서 구한 값에 곱해주어야 한다. 그러나, 보

정계수가 거의 '1'에 가까우므로, 계산의 편의상 가정된 유효층을 사용하여 구한 예측식의 값을 그대로 사용하여도 무방하리라 생각된다. 즉, 단면환산 과정을 단순화시키기 위해 유효층을 콘크리트 토퍼링 상부에서 각각의 데크 플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 보고 단면을 환산하는 것이 합리적이라 판단된다.

5. 고유진동수 예측식 산출

위에서 살펴본 매개변수들은 독립변수가 되지 못하고 서로간에 상관관계를 가지면서 변화게 되며, 결국 탄성계수, 보의 단면2차모멘트, 보의 길이, 질량 등의 변수에 종속되어진다. 이러한 독립변수들간의 관계는 기존의 예측식에 있는 매개변수들로부터 추론해 낼 수 있으며, 다음과 같이 8가지의 경우를 그 대상으로 삼기로 한다.

<Table.7> New parameters combined independent coefficients

1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{EI}{L}$	$\sqrt{\frac{EI}{L^4}}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	$\frac{EI}{mL}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL^3}}$	$\sqrt{\frac{EI}{mL}}$	$\sqrt{\frac{EI}{L}}$	$\frac{1}{m}$

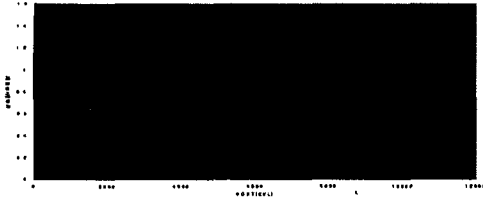
또한, 각각의 매개변수에 대해 다음의 조건을 고려하기로 한다. 이는 위의 독립변수들 중 탄성계수와 단면2차모멘트에 있어서 그 값을 달리 적용할 수 있기 때문이다.

<Table.8> E & I for each case

CASE	기존의 예측식	보정식	
	단면환산시	탄성계수	단면2차모멘트
1	접선탄성계수(Et)	철골	철골환산
2	할선탄성계수(E)	콘크리트(E)	콘크리트 환산
3	접선탄성계수(Et)	콘크리트(Et)	콘크리트 환산
4	할선탄성계수(E)	철골	철골환산

각 CASE별로 위의 8개의 매개변수에 대한 실측값/보정값을 회귀분석을 통해 보정식을 산출하고 기존의 예측식에 적용하여 오차율을 살펴본 결과, <Table.7>의 매개

변수 7을 이용한 CASE 3의 경우가 보정전에는 -29.3%~20.16%(49.46%)의 오차를 범위에서 보정후에는 -14.97%~19.72%(34.69%)의 오차를 범위로 14.77%가 개선되었다. CASE 3의 회귀분석 결과는 <Fig.13>과 같다.



<Fig.13> CASE 3's regression analysis

따라서, 기존의 고유진동수 예측식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f = 1.57 \sqrt{\frac{gEI}{WL^3}} \times (7E - 05 \times \sqrt{\frac{nEI}{L}} + 0.5809) \quad \text{<Eq.12>}$$

- 여기에서, f : 1차 고유진동수, g : 중력가속도
 E : 접선탄성계수, W : 고정하중
 I : T형보의 환산단면2차모멘트 (철골로 환산)
 L : T형보의 스패 (T형보의 유효폭은 보간격)
 n : 탄성계수비

6. 결론

1. 합성 데크 플레이트 바닥구조의 경우, 실제 건물의 고유진동수 측정결과 보와 슬래브의 고유진동수가 동일하게 나타나므로, 기존의 동역학적 이론에 의한 보의 고유진동수 예측식에 의해 바닥구조의 고유진동수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.
2. 실제 건물의 고유진동수 측정값과 예측식에 의한 값을 비교해 본 결과 「LRFD」의 바닥구조 진동식과 「AISC」의 예측식은 실제 측정값을 저평가하는 경향이 있었고, 「Lenzen」의 예측식은 고평가하는 경향이 있었다. 또한, 「CEN EC 3/1」과 「LRFD」의 보 진동식은 단위체계만 다른 동일한 식으로 실제 측정값을 주로 저평가하는 경향이 있었으나, 일부 고평가하는 경우도

있었다. 하지만, 다른 예측식과 비교해 볼 때, 실제 측정값과 가장 작은 오차를 보이고 있었다. 그리고, 「합성데크 설계기준(안)」에서 제시하는 예측식은 보의 길이를 포함하고 있지 않으므로, 예측식으로는 부적절하다고 판단된다.

3. 합성데크 플레이트 슬래브의 단면 환산시 유효층을 콘크리트 토핑상부에서 각 데크 플레이트 자체의 중립축까지의 거리로 보는 것이 계산상 편리하고 합리적이다.

4. 각각의 매개변수에 따른 합성 데크 플레이트의 고유진동수 변화율을 조사해 본 결과, 유효폭, 보 길이 그리고, 콘크리트 토핑두께의 경우, 이러한 매개변수들이 증가함에 따라 고유진동수 변화율은 감소하였고, 탄성계수, 보의 단면2차모멘트, 보와 슬래브의 합성율이 증가함에 따라 고유진동수 변화율도 증가함을 알 수 있었다.

5. 기존 예측식들 중 실제 측정값과 가장 오차가 적은 보의 동역학적 이론에 근거한 「LRFD」의 보 진동식을 이용하여 이를 보정한 결과 오차가 -29.3%~20.16%(49.46%)의 오차 범위에서 보정후에는 -14.97%~19.72%(34.69%)의 오차 범위로 14.77%가 개선되었다.

참 고 문 헌

- (1) J. L. Humar , 1990, Dynamics of Structures, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- (2) 대한건축학회, 1998, 강구조 한계상태 설계기준 및 해설, 기문당.
- (3) 대한건축학회, 1998, 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설
- (4) AISC, 1994, Load & Resistance Factor Design, 2nd Ed. Vol 1.
- (5) AISC, 1998, Steel Design Guide Series 11 : Floor Vibrations - Due to Human Activity.
- (6) D. L. Allen, 1974, "Vibrational Behavior of Long-Span Floor Slabs", Canadian J. of Civil Engineering, Vol. 108, No. 1, pp. 108~115.
- (7) 日本建築學會, 1982, 鐵筋コンクリート構造計算準
- (8) 이성수, 2000, 철근콘크리트 바닥구조의 고유진동수 예측식에 관한 연구, 연세대학교 건축공학과 박사학위논문