

바닥구조의 고유진동수 보정-예측식의 제안을 위한 사례연구

Natural Frequency Correction of the floor structure- Case Study for the Prediction Equation Proposed

류상욱† · 황재승* · 김정중** · 정광민***

Sang-Uk Ryu, Jae-Seung Hwang, Jung-Joong Kim and Kwang-Min Jung

1. 서 론

최근에 지진, 회전기계의 진동, 공사현장의 진동등에 의해 바닥구조의 진동전달이 문제가 되고 있는 경우가 늘어나고 있다. 이러한 진동들의 문제를 해결하기 위해서는 진동원인 분석 및 바닥구조의 고유진동수와 진동원의 진동수의 비교예측을 통해 가능하다.

하지만 시공이 되어 있을때는 측정을 통해 알 수 있으나 시공이 되어 있지 않을 경우는 예측식이나 구조해석프로그램으로 예측을 해야만 한다.

그러나 예측식과 구조해석프로그램의 오차율이 크므로 실측치와 비교한 사례나 DATA수집을 통해서 예측식이나 구조해석프로그램의 신뢰성을 높일 수 있다면 문제를 예방을 하는데 도움이 될 것이다.

본 연구는 바닥구조의 진동전달이 문제가 된 대형 드럼세탁기의 사례를 통해서 바닥구조의 고유진동수와 진동원의 진동수에 따른 보정 예측식을 만드는데 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 고유진동수 예측식의 종류와 적용예측식 선정

바닥구조의 고유진동수를 예측하는 식은 크게 4가지이다. 보진동 이론의 보진동식과 판진동 이론의 판진동식, 보와 거더의 상호적인 진동효과를 고려하는 시스템 진동식, 판진동식에서 바닥판의 중앙에 작은보가 있는 경우를 고려하는 보정-판진동식등이 있다.

이 중 측정조건을 잘 반영할 수 있는 보진동식과 보와 거더의 상호작용을 고려한 시스템 진동식을 실제 측정치와 비교하여 오차율을 확인하고자 한다.⁽²⁾

† 교신저자; 류상욱 전남대학교 건축공학과 석사과정
E-mail : iloveu1007@hanmail.net
Tel : 02-508-3351 Fax : 02-6499-3351

* 전남대학교 건축공학과 교수

** (주)환경음향연구소 소장

*** (주)환경음향연구소

2.1 보진동식

한스펜의 등방성균질보에 대한 1차 고유진동수는 지지조건에 따라 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$f = C_B \left(\frac{EI}{mL^4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

m : 단위길이당 질량(t/m), EI : 휨강성(kNm²)

L : 스패ん길이(m), C_B : 단일 지지조건에 따른 값

Table1. According to the end support conditions C_B

양단단순지지	고정/단순지지	양단고정	고정/자유단
1.57	2.45	3.56	0.56

(1) 보진동수

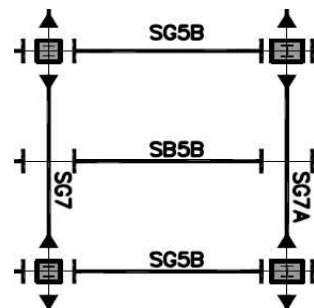
- 측정조건에 따라 양단단순지지의 경우 적용

$$f = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (g = 9.8m/s^2) \quad (2)$$

Δ : 단순보의 중앙부 최대 정적처짐

- Floor Structure : Steel-reinforced concrete structures
- Concrete : m=2400kg/m³, f_{ck}=23.52Mpa
E_c=22773Mpa, E_s=210000Mpa
- Slab Weight : 3.6kPa(concrete)+1.12(steel)
- Beam Properties : SB5B : H-482*300*11*15
A=14550mm², I_x=604*10⁶mm⁴, d=482
- Girder Properties : SG7A : H-692*300*13*20
A=21150mm², I_x=1720*10⁶mm⁴, d=692

Figure1. The shape of the floor structure



① 동적 영계수비를 구하여 도심축의 위치 파악

$$n = E_s / 1.35 E_c = 6.83$$

$$y = \frac{14550(150 + 482/2) + (4200/6.83)(150)(75)}{14550 + (4200/6.83)(150)}$$

$$= 118.05 \text{ mm}$$

② 환산단면 이차모멘트 계산

$$I_b = I_i + Ad^2$$

$$I_b = \left(\frac{4200 \times 150^3}{6.83} \times \frac{1}{12} \right) + (604 \times 10^6)$$

$$+ (92240 \times (150 - 118.05)^2) + (14550 \times 272.95^2)$$

$$= 1955.098 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

③ 단위길이당 하중을 구한 후 처짐 계산

$$W_j = 4.2 \times 3.6 + 1.12 = 16.24 \text{ kN/m}$$

$$\Delta_b = \frac{5 W_j L_j^4}{384 E_s I_j} = \frac{5 \times 16.24 \times 8400^4}{384 \times 210000 \times 1955.098 \times 10^6}$$

$$= 2.56 \text{ mm}$$

④ 고유진동수 계산

$$f_b = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} = 0.18 \sqrt{\frac{9810}{2.56}} = 11.14 \text{ Hz}$$

(2) 거더진동수

• 거더의 경우 위와 같은 단순지지의 처짐방식이 아닌 양단고정식(1)을 적용

$$f_g = 3.56 \left(\frac{EI}{mL^4} \right)^{\frac{1}{2}} = 12.33 \text{ Hz}$$

2.2 시스템진동식

보와 거더의 상호작용을 고려한 진동식

$$\frac{1}{f_s^2} = \frac{1}{f_b^2} + \frac{1}{f_g^2}$$

fs : 바닥판의 고유진동수

fb : 보 또는 장선의 고유진동수

fg : 거더의 고유진동수

① 고유진동수 (보+거더진동수)

$$= \frac{1}{11.14^2} + \frac{1}{12.33^2} = \sqrt{\frac{1}{0.0146}} = 8.28 \text{ Hz}$$

3. 바닥구조의 측정치와 예측식 비교

3.1 바닥구조의 측정 개요 및 측정 조건

바닥구조의 측정을 통해 얻어진 DATA와 예측식의 고유진동수를 비교하여 보정 예측식 제안을 목적으로 한다. 바닥구조는 철골철근콘크리트 보-기둥 라멘 구조이고 슬래브 두께는 150mm, 콘크리트강도는 24MPa이며 측정장비와 측정위치는 다음과 같다.

Table 2. Measurement Overview

구분	모델명	특징
가진원	대형드럼세탁기	1705*2070*2160 465/580/700 rpm
Blaster II	BlastemateII	1채널 속도 및 주파수분석 주파수범위:2~250Hz
가속도계	SVAN958	2채널 가속도 및 주파수분석 주파수범위:0.5Hz~20khz
해석프로그램	Blastemate	고유진동수, 속도 모드해석
	SVAN PC++	고유진동수, 가속도 모드해석

Figure2. Measurement location

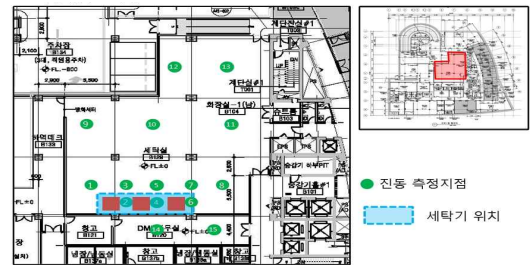
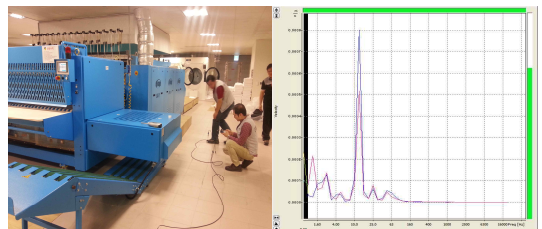


Figure3. Measuring photo and DATA



3.2 바닥구조의 1차 고유진동수(Hz) 비교

철골철근콘크리트 바닥구조의 고유진동수는 실측치와 시스템진동식을 적용할 경우 -33.8%의 오차율을 보이고 있다. 하지만 보진동수와 거더진동수는 측정치와 비슷한 경향을 보이고 있어 보진동식이 시스템진동식보다 상대적으로 타당한 값이라고 할 수 있다.

Table 3. Formula compared to Measured DATA (Hz)

구분	측정치	보진동식		시스템진동식	오차율 (%)
		보진동수	거더진동수		
철골철근콘크리트구조	12.5	11.14	12.33	8.28	-33.8

4. 결 론

철골철근콘크리트 바닥구조의 측정치와 기존 보진동식과 시스템진동식의 비교결과는 다음과 같다.

- 1) 기존의 예측식 중 보진동식은 시스템진동식에 비해 상대적으로 타당한 값을 가지고 있고 거더진동수의 경우는 오차율이 1.36%로 철골철근콘크리트 바닥구조에서는 신뢰성이 높다.
- 2) 기존의 예측식 중 보와 거더의 상호작용을 고려한 시스템진동식의 경우는 오차율이 -33.8%로 큰 오차율을 보이고 있으나 보정을 한다면 실제 바닥구조와 유사한 패턴을 보일 것으로 사료된다.
- 3) 보정 예측식의 보정지수는 다음과 같으며 오차율은 -0.08%로 좋아진다.

$$\frac{1}{f_s^2} = 1.51 \left(\frac{1}{f_b^2} + \frac{1}{f_g^2} \right)$$

보정 예측식은 보진동식보다 신뢰성이 좋으나 철골철근콘크리트 바닥구조의 한가지 사례일 뿐 더 많은 사례를 통해 신뢰성 검증이 필요하다. 또한 시공과정의 시공오차나 설계조건에 따른 편차가 생길 수 있으므로 경험을 통한 보정예측식의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Do-Kwan Hong, Jae-Boo Jeong, Seung-Wook Jung, Gyeong-Bae Kim and Chan-Woo Ahn, 『Investigating Natural Frequency Analysis and Measurement of Railway Vehicle to Avoid Resonance』, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2012
- (2) Kap-Pyo Hong, Seong-Soo Lee, Hee-Won Lee, 『A Study on the Natural Frequency and the Prediction Equation of Floor Vibration』, Architectural institute of Korea, 1999
- (3) AISC/CISC, 『Steel Design Guide Series 11. Floor Vibration Due to Human Activity』, American Institute Of Steel Construction, 1997
- (4) AISC, 『Load & Resistance Factor Design』, AISC, 2nd Ed, 1994
- (5) R.G. Caverson, “Review of Vibration Guidelines for Suspended Concrete Slabs”, Canadian J. of Civil Engineering, Vol21, pp.931~938, 1994
- (6) CAN/CSA-S16.1-M89, Appendix G, 『For Floor Vibrations』, Limit States Design of Steel Structures, 1989