

철골 모듈 바닥구조형식에 따른 진동 특성 분석

오근영¹ · 이상섭^{2*}

¹수석연구원, 한국건설기술연구원, 건축연구본부, ²연구위원, 한국건설기술연구원, 건축연구본부

An Analysis on Floor Vibration According to the Floor System of Steel Module

Oh, Keunyeong¹, Lee, Sang Sup^{2*}

¹Senior Researcher, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, 10223, Korea

²Research Fellow, Dept. of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, 10223, Korea

Abstract - To analyze the characteristics of floor vibration according to the steel module floor system, floor vibration performance evaluations were conducted on 3 residential modular units and 3 school modular units. The results of the modal impact test showed that the vibrations of school modules were predominantly distributed in the low-frequency range compared to residential modules. In walking vibration, it was found that, with the exception of some modules, most modules did not meet the standards provided by ISO, indicating the need to devise measures for reducing floor vibrations.

Keywords - Floor vibration, Steel module, Floor system, Modal impact test, Walking vibration

1. 서론

모듈러 건축 공법은 전세계적으로 보급된 공업화 건축 공법 중 하나이며, 공장 생산된 철골 모듈 유닛을 단기간 내에 생산 및 조립하여 현장에서 건축물을 조립하는 방식으로 공사기간을 단축할 수 있고 현장 시공을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다^[1].

국내에서는 2003년 국내 최초의 모듈러 학교인 서울신기초등학교 증축 공사를 기점으로 모듈러 건축에 대한 많은 연구가 진행되었다^[1]. 특히 국내에서는 모듈러 건축에 대한 중고층화를 위하여 모듈러 접합 상세 개발 및 평가 등에 관한 연구가 주로 수행되었다^{[2]-[6]}.

모듈러 건축의 중고층화를 위한 모듈 간 접합 상세 개발 및 평가에 관한 연구를 기반으로 국내에서는 6층

이상의 모듈러 건축물이 건설되기 시작하였다. 주택 용도로 2014년 4층 규모의 공릉동 기숙사를 시작으로 2017년 6층 규모의 가양동 모듈러 주택과 2019년 동일층수의 천안 두정동에 모듈러 주택이 건설되었다. 이후, 2022년도엔 포스코에서 12층 규모의 기숙사를 건설하였으며, 2023년도엔 경기 용인 영덕에 13층 규모의 공동주택이 건설되었다. 이와 같이 모듈러 건축물은 점차 고층화가 되어 가고 있으며, 최근에는 임시교사 시설을 모듈러 건축물로 채택하고 있어 단위 모듈의 크기 또한 점차 확장되어 가고 있다.

모듈러 건축물의 고층화 및 단위 모듈의 대형화에 따라 주거환경 성능에 대한 관심이 높아지고 있어 실제 건설된 모듈러 건축물을 대상으로 거주 후 평가(post occupancy evaluation, POE)에 대한 연구가 진행되고 있다.

공릉동 모듈러 주택에 대한 거주 후 평가 관련 연구에서는 ‘외부 소음 및 진동’, ‘단열성능’, ‘외풍’, ‘누수 및 결로’ 등 주거 만족도 지표에서 ‘외부 소음 및 진동’ 만족도가 가장 낮은 것으로 보고하였다^[7]. 또한, 천안 두정동 모듈러 주택의 경우에도 거주 후 평가에서 외부 차량통행에 따른 진동 문제를 보고하였으며^[8], 해당 건

Note.-Discussion open until February 28, 2025. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 16, 2024; revised on July 26, 2024; approved on July 29, 2024. Copyright © 2024 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-910-0768

E-mail. lss0371@kict.re.kr

축물을 대상으로 진동원에 대한 진동성능평가 결과, 적층식 구조에서의 탁월진동수는 11 Hz, 끼움식 구조에서는 탁월진동수가 17 Hz로 측정되어 10 Hz-20 Hz 대역에서 방진대책을 마련해야 할 것으로 보고하였다^[9].

이보다 단위 모듈의 규모가 큰 모듈러 병영생활관을 대상으로 거주 후 평가를 수행한 연구 논문에서도 다른 주거환경 항목들 보다 진동과 관련된 항목에서 가장 낮은 점수를 취득한 것으로 나타났다^[10]. 이러한 철골 모듈러 건축물의 바닥 진동 성능을 향상시키고자 셋기동의 유무에 따른 진동 특성을 해석적으로 평가하여 진동 성능 향상 방안을 제안하기도 하였다^[11].

최근 모듈러 건축물에 대한 사회적 관심이 높아지면서 모듈러 건축물 고층화 및 대형화에 따라 이에 준하는 주거환경 성능이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 생산되고 있는 모듈러 건축물의 바닥구조형식에 따른 바닥진동 성능특성을 평가하여 향후 모듈러 건축물의 바닥 진동 성능을 향상 시킬 수 있는 방안과 바닥 진동 저감을 위한 동조질량댐퍼 개발을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다. 이를 위하여 거주용 모듈러 3식(주택, 호텔, 기숙사)과 임시교사 모듈 3식에 대하여 임팩트 해머(impact hammer)에 의한 충격 가진 진동시험(impact test)을 통해 모듈 바닥구조형식에 따른 모듈러 건축물의 고유주파수(natural frequency)를 파악하고 보행 진동 평가를 통해 바닥진동에 대한 사용 성능을 평가하고자 한다.

2. 모듈러 건축물 바닥진동 성능평가 계획

철골 모듈러 건축물의 바닥 구조상세에 따른 바닥 진

동 특성을 분석하기 위하여 거주용 모듈러 3식(주택, 호텔, 기숙사)과 학교 임시교사 모듈러 3식에 대하여 충격 가진 진동시험 및 보행 진동 성능평가를 계획하였다.

2.1 대상 모듈러 바닥구조 상세

Table 1과 Fig. 1에 모듈러 바닥진동 성능평가 대상 모듈러의 상세를 나타내었다. 대상 모듈러는 모듈러 제작 업체에 방문하여 목업으로 제작된 모듈(R-A, S-A), 전사용 모듈(R-B, R-C), 그리고 현재 제작 중인 모듈(S-B, S-C)을 대상으로 바닥진동 성능평가가 수행되었다.

거주용 모듈러(R)의 경우 바닥 보 춤의 크기는 200 mm, 슬래브의 두께는 150 mm로 동일하였다. R-A 모듈의 바닥 보는 R-B 및 R-C 모듈과 달리 ㄷ 형강을 사용하였고, R-B 모듈과 R-C 모듈은 마감재 두께의 차이가 있었다. 거주용 모듈러의 바닥 마감은 제조사별로 차이가 있었지만, 단열재, 시멘트 몰탈, 마감재 등이 사용되었다.

임시교사 학교 모듈(S)의 바닥 보 춤의 크기는 300 mm로 동일하였으나, 슬래브의 두께는 100 또는 150 mm로 나타났다. S-B 모듈의 경우 다른 학교 모듈과는 달리 ALC 패널로 바닥을 구성하였고 S-A 및 S-C 모듈 보다 평면의 크기가 큰 것으로 나타났다. S-C 모듈은 제작 중(바닥 콘크리트 타설까지 완료 후)에 바닥진동 성능평가가 수행되어 바닥 마감까지 이루어지지 않았다. 학교 모듈의 마감재 또한 제조사 별로 차이가 있었으며, 거주용 모듈과는 다르게 단열재 없이 데코타일 또는 바닥 마감재로만 마감을 하였다. 측정 대상 모든 모듈은 대지 위에 놓여진 상태로 실제 시공 완료 시의 지점조건과는 다른 상태이다.

Table 1. List of modular floor system

Division	R-A	R-B	R-C	S-A	S-B	S-C
Uses	Housing	Hotel	Dormitory	School	School	School
Module size (mm)	3,190×6,306	3,280×7,450	3,300×7,250	3,000×7,500	3,420×9,000	3,400×8,800
Floor beam	C-200×75×6	□-200×100×4.5	□-200×100×4.5	C-300×100×9	□-300×200×9	□-300×200×9
Slab material	Concrete slab	Concrete slab	Concrete slab	Concrete slab	ALC panel	Concrete slab
Slab THK. (mm)	150	150	150	150	100	100
Floor finishing	○	○	○	○	○	×
(EI)s (kN·m ²)	34.99	35.98	36.20	32.90	11.11	11.05
Weight (kN)	72.94	89.21	87.33	84.39	27.09	82.12

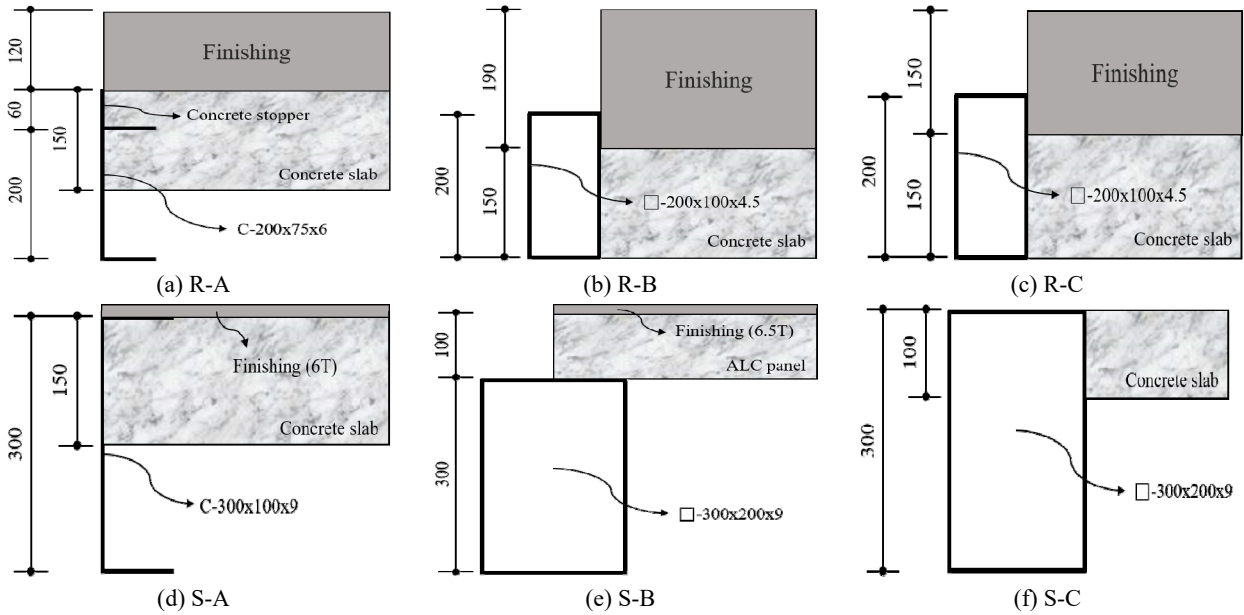


Fig. 1. Details of modular floor system

2.2 충격 가진 진동시험(Modal impact test)

충격 가진 진동시험은 모달 테스트(modal test)계의 동특성(고유주파수, 고유모드 감쇠비 등)을 파악하기 위하여 수행하는 실험으로 임팩트 해머로 외력(force)을 가하고 이에 대한 주파수 응답 함수를 통해 모듈러 바닥구조물의 고유주파수를 산출할 수 있다.

충격 가진 진동시험은 대상이 되는 구조물에 임팩트 해머를 통해 가진하여 이에 대한 응답인 가속도를 센서를 통해 얻을 수 있다. 측정된 가속도 그래프를 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT) 분석을 통해 스펙트럼 그래프를 도출할 수 있다. 도출된 스펙트럼 그래프를 주파수 응답 함수(frequency response function, FRF)로 변환하여 고유 진동수를 산출할 수 있으며, 주파수 응답 함수는 전달함수를 주파수 영역에 의한 방법

으로 표현한 함수로서 해당 그래프의 최고점(peak)을 고유진동수로 정의할 수 있다.

모듈러 바닥 구조의 고유 진동수를 평가하기 위한 충격 가진 진동시험은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 모듈러 건축물 내부 바닥 길이 방향 1/4 지점에 가속도 센서를 설치하고 임팩트 해머를 통한 충격 가진을 통해 응답을 측정하고, FRF 및 고유진동수를 산출하였다.

2.3 보행 진동 사용성 평가

모듈러 건축물의 바닥진동 사용성 평가 기준은 국내에 법제화된 기준이 별도로 제시되어 있지 않아 ISO 10137:2007^[12]를 평가 기준으로 설정하였다. Fig. 3에서와 같이 모듈러 건축물 내부에서 성인 남성 1인(75

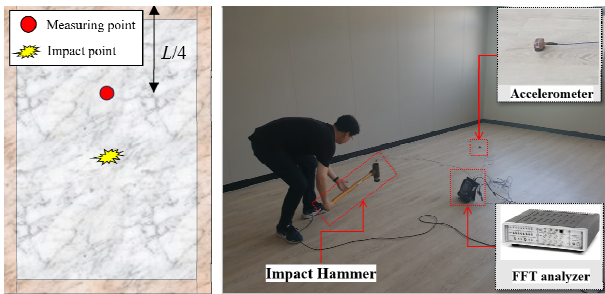


Fig. 2. Impact test method

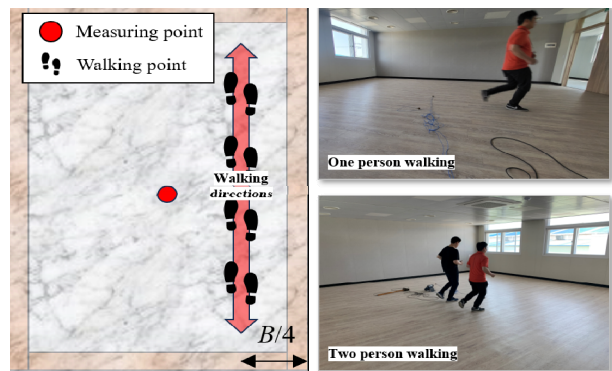


Fig. 3. Walking excitation method

kg) 또는 2인(75 kg, 90 kg) 보행 시, 중앙 바닥에 설치한 가속도 센서를 통해 보행 시 진동 응답을 측정하였다. 보행진동수는 공진시험을 통해 나타난 바닥의 고유진동수로부터 그 약수에 대응되는 1.8 Hz-2.2 Hz 정도의 보행진동수로 보행자를 걷게 하였다. 측정된 응답은 1/3 진동수 대역의 RMS 가속도 값을 ISO 10137:2007 평가 기준선과 비교하였다. Fig. 4와 Table 2에서는 ISO 10137:2007에서 제시하고 있는 실용도별 실내 진동 권장기준을 나타내었다.

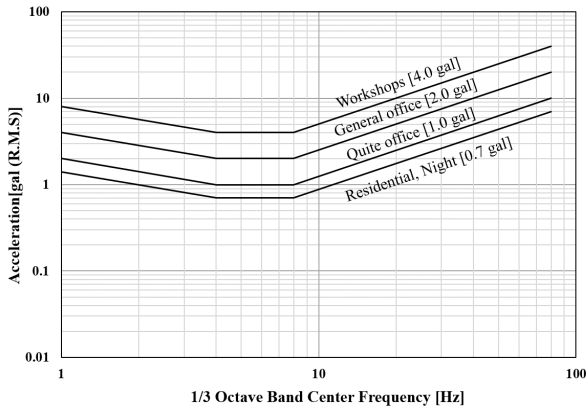


Fig. 4. Building vibration z-axis base curve for acceleration by ISO 10137:2007

Table 2. Satisfactory magnitudes of building vibration with respect to human response by ISO

Place	Time	Continuous vibration and intermittent vibration		
		RMS (m/s ²)	RMS (gal)	Vibration level (dB)
Critical working area	Day	0.005	0.5	54
	Night	similar to residence		
Residential	Day	0.01 - 0.02	1.0 - 2.0	60 - 66
	Night	0.007	0.7	57
Quiet office, Open plan	All time	0.01	1.0	60
General office	All time	0.02	2.0	66
Workshops	All time	0.04	4.0	72

3. 바닥진동 성능평가 결과

3.1 충격 가진 진동시험 결과

모듈러 건축물의 바닥구조 고유주파수를 평가하기 위한 충격 가진 진동시험 결과, 거주용 모듈러 건축물의 고유주파수는 15.0 Hz-18.7 Hz, 임시교사 학교 모듈러는 9.5 Hz-19.9 Hz로 측정되어, 전반적으로 거주용 모듈러의 고유주파수는 고 주파수 영역대에 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 평면의 크기 및 보의 춤이 거주용에 비하여 학교 모듈러가 크기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

ISO 10137:2007에서 제시하고 있는 인체 민감 주파수 영역대인 4 Hz-8 Hz에 포함되는 모듈러 구조물은 없었지만, 학교 모듈러 중 S-A 모듈러인 경우 고유주파수 9.5 Hz로 인체 민감 영역대 근처에 있는 것으로 나타났다. 또한, S-B 모듈러는 다른 모듈러 건축물과 달리 바닥구조가 ALC 패널로 구성되어 있어 슬래브의 두께는 가장 얇지만 고유주파수는 가장 높게 나타났으며, 이유는 ALC 패널의 비중은 0.5로 일반 콘크리트 슬래브에 비하여 비중이 매우 낮기 때문에 고유주파수가 높게 나타났다.

R-A 모듈러와 S-A 모듈러는 다른 모듈러 건축물과 달리 바닥 보를 ㄷ형강으로 바닥구조 시스템을 구축하였지만, Table 3에서와 같이 거주용과 임시교사 학교 모듈러에서 가장 낮은 고유주파수를 보여주었다. 바닥구조 형식 및 마감재 등에 따라 차이가 있을 수 있지만, 각형강관이 ㄷ형강에 비하여 바닥진동에 유리한 것으로 판단된다. Table 3과 Fig. 5에는 충격 가진 진동시험 결과를 정리하여 나타내었다.

Table 3. Modal impact test results

Module	1st Natural frequency (Hz)	FRF ((m/s ²)/N)
R-A	15.0	0.3092
R-B	16.5	0.0541
R-C	18.7	0.0660
S-A	9.5	0.1187
S-B	19.9	0.7244
S-C	14.9	0.0031

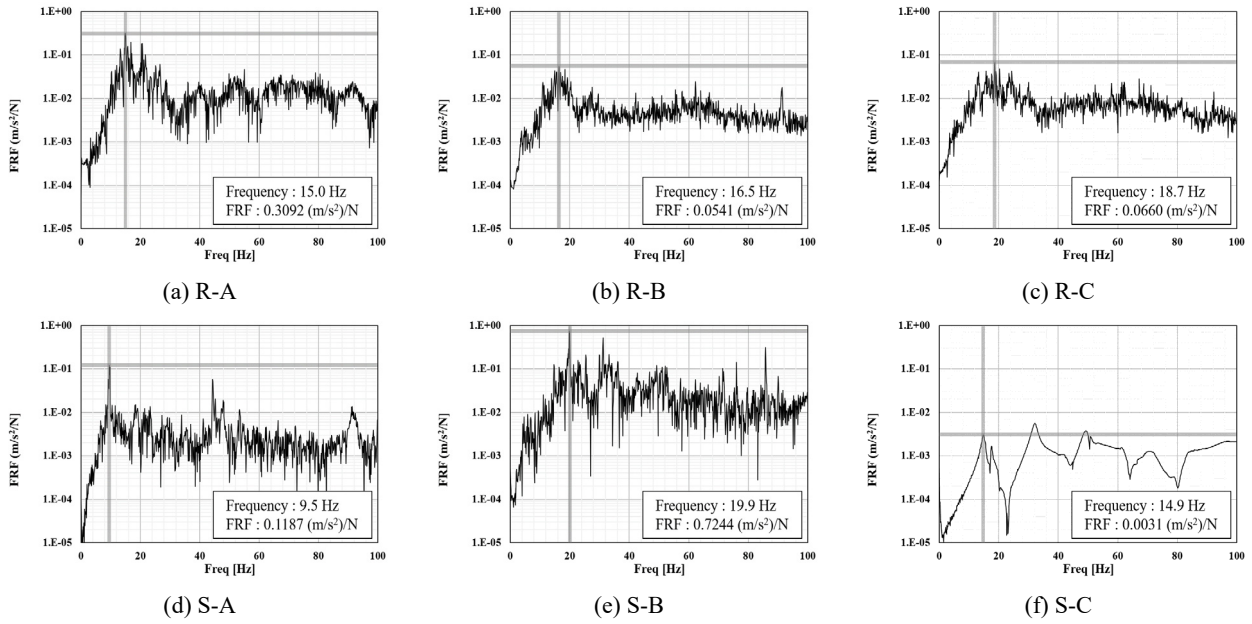


Fig. 5. Impact test results

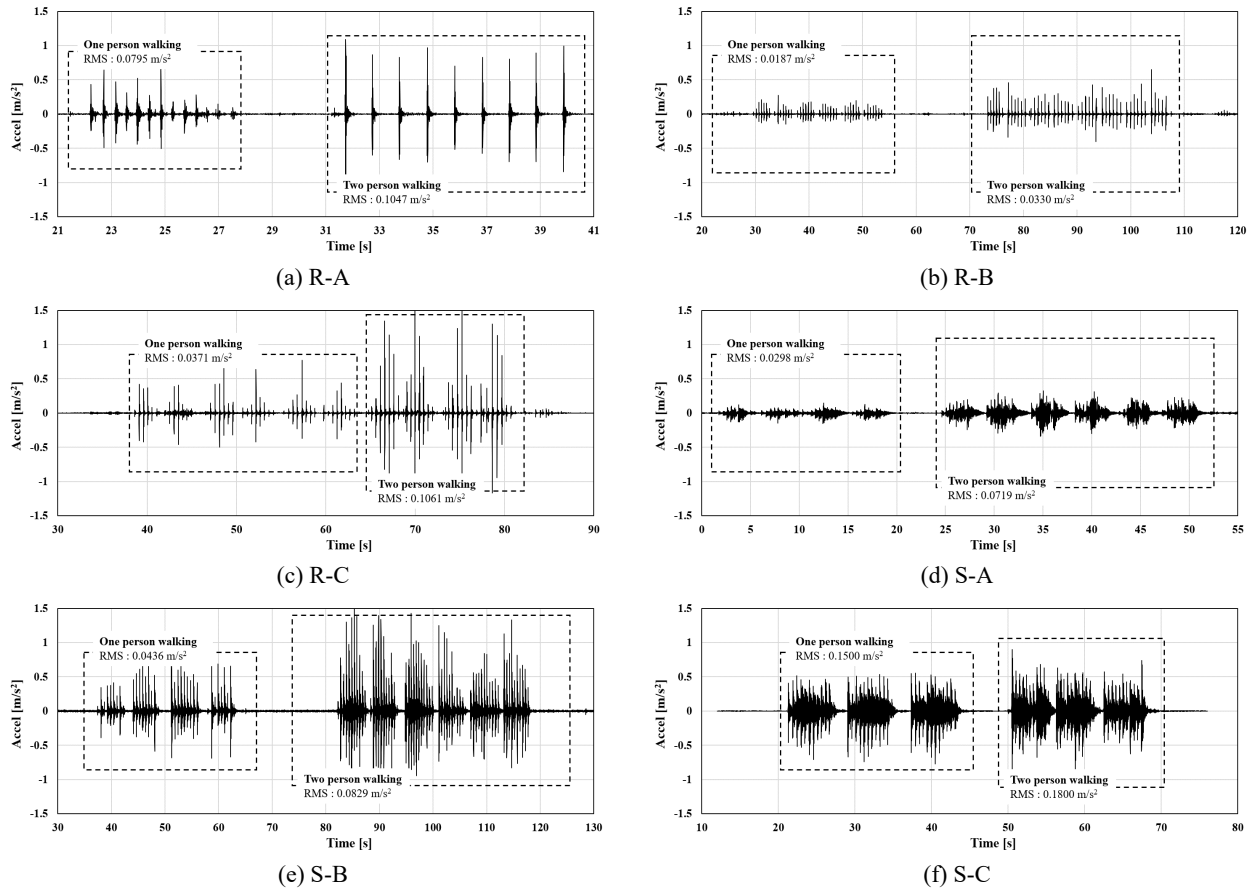


Fig. 6. Acceleration–time curve by walking vibration

3.2 보행 진동 사용성 평가 결과

Fig. 6에는 1인 또는 2인 보행 진동 시 측정된 각 모듈러의 가속도-시간 그래프를 나타내었다. 주거용 모듈러 1인 보행 시 RMS 값은 R-A 모듈 0.0795 m/s^2 , R-B 모듈 0.0187 m/s^2 , R-C 모듈 0.0371 m/s^2 로 나타났고, 2인 보행 시에는 0.1047 m/s^2 , 0.0330 m/s^2 , 0.1061 m/s^2 로 측정되었다. 임시교사 학교 모듈의 경우, 1인 보행 시에는 S-A 모듈 0.0298 m/s^2 , S-B 모듈 0.0436 m/s^2 , S-C 모듈 0.1500 m/s^2 로 측정되었으며, 2인 보행 시에는 0.0719 m/s^2 , 0.0829 m/s^2 , 0.1800 m/s^2 로 나타났다.

Table 4에서는 1인 또는 2인 보행 시 측정된 가속도-시간 그래프를 FFT 분석에 따라 산출된 고유주파수를 정리하여 나타내었다. 산출된 고유주파수를 Table 3에서의 충격 가진 진동시험에서 도출한 고유주파수와 비교하였을 때, S-A 모듈과 S-C 모듈을 제외하고 오차율

Table 4. 1st natural frequency by walking vibration

Module	1 person		2 person	
	Frequency (Hz)	Error (%)	Frequency (Hz)	Error (%)
R-A	17.5	16.7	18.6	24.0
R-B	14.5	12.1	14.6	11.5
R-C	13.2	29.4	15.6	16.6
S-A	9.8	3.2	9.5	0
S-B	12.6	36.7	16.4	17.6
S-C	15.1	1.34	14.4	3.4

Table 5. Walking vibration test results

Module	1 person		2 person	
	RMS (gal)	ISO	RMS (gal)	ISO
R-A	0.7	< Residential, night (0.7)	1.5	> Residential, night (0.7)
R-B	0.5	< Residential, night (0.7)	0.9	> Residential, night (0.7)
R-C	1.1	> Residential, night (0.7)	1.5	> Residential, night (0.7)
S-A	4.1	> workshops (4.0)	9.2	> workshops (4.0)
S-B	3.8	< workshops (4.0)	8.4	> workshops (4.0)
S-C	4.4	> workshops (4.0)	9.1	> workshops (4.0)

이 10%~30%대로 다양하게 분포되어 이 차이는 가진 원의 차이로 발생한 것으로 판단된다.

Table 5와 Fig. 7에서는 측정된 응답을 소음이나 진동 분야에 주로 사용되는 1/3 진동수 대역의 RMS 가속도 값을 ISO 10137:2007 평가 기준선과 상호 비교한 결과 값이다. 거주용 모듈러의 경우 ISO 기준에서의 ‘residential, night (0.7 gal)’와 비교하였으며, 임시교사 학교 모듈러의 경우 ‘workshops (4.0 gal)’과 상호 비교하였다. R-A 모듈과 R-B 모듈의 경우 1인 보행 시에서만 ISO 평가 기준선을 만족하는 수준을 보여주었으며, 2인 보행 시에는 초과하는 수준이었다. R-C 모듈의 경우에는 1인과 2인 보행 시 모두 만족하지 못하였다.

임시교사 학교 모듈러의 경우에는 S-B 모듈의 경우에만 1인 보행 시 ISO에서 제시하는 기준을 만족하였으며, 그 외의 모듈과 2인 보행 시에는 기준을 초과하였다.

본 연구에서 바닥진동 대상 모듈들의 고유주파수는 ISO에서 제시하는 인체 민감 주파수 영역대(4 Hz~8 Hz)를 벗어나 있지만, 진동에 민감한 사람이 있을 경우에는 바닥진동 저감을 위한 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

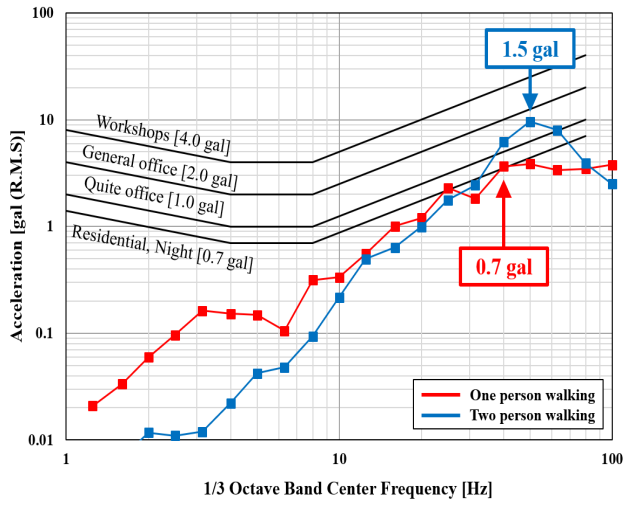
4. 결론

본 연구에서는 철골 모듈러 건축물의 바닥진동 성능 향상을 위한 기초자료 확보의 일환으로 거주용 모듈러 3식과 임시교사 학교 모듈러 3식에 대하여 바닥진동 성능평가를 수행하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

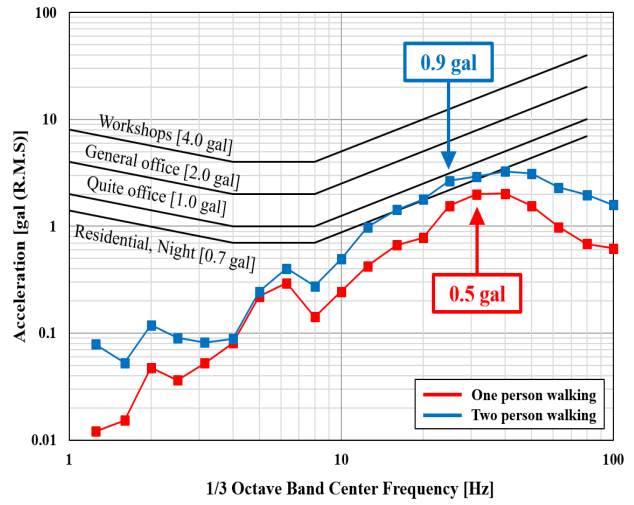
(1) 충격 가진 진동시험 결과, 거주용 모듈러의 고유주파수는 15.0 Hz, 16.5 Hz, 18.7 Hz, 학교 모듈러의 경우 9.5 Hz, 19.9 Hz, 14.9 Hz로 측정되었다. 학교 모듈러의 고유주파수는 거주용 모듈러에 비하여 저주파수 영역대에 있었으며, 이는 평면의 크기와 바닥 슬래브의 두께 영향 때문인 것으로 판단된다.

(2) 1인 또는 2인 보행진동 결과, 거주용 모듈러의 경우 1인 보행 시 일부 모듈에서만 ISO에서 제시하는 기준치를 만족하였으나 그 외의 경우에는 초과하였다. 또한, 학교 모듈의 경우에도 ALC 블록을 사용한 모듈의 1인 보행을 제외하고 기준치를 만족하지 못하였다.

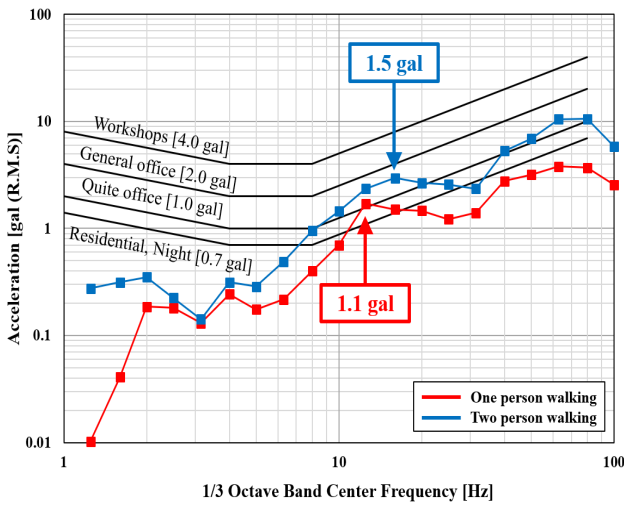
(3) 거주용 모듈러의 경우 보행 진동 시 고주파수 영역대에서 ISO 기준치를 초과한 것으로 진동이 느껴지



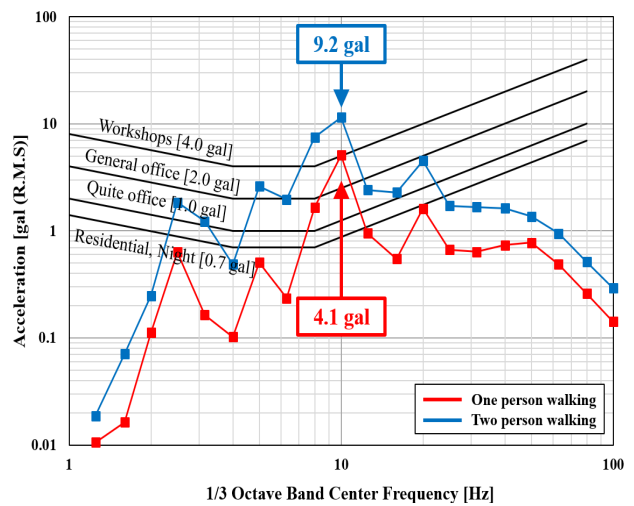
(a) Walking vibration of R-A



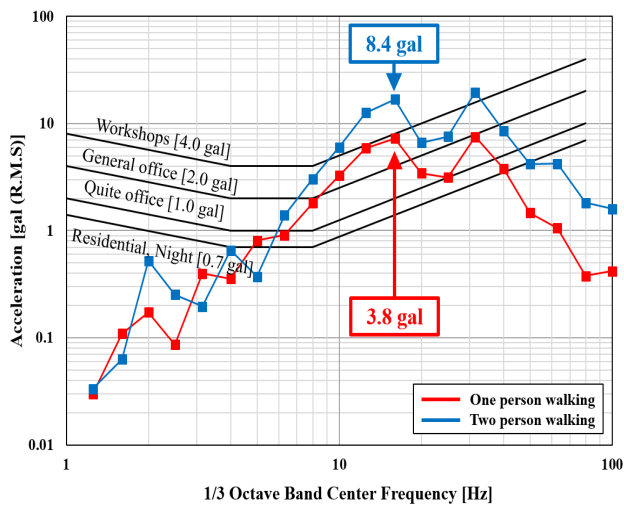
(b) Walking vibration of R-B



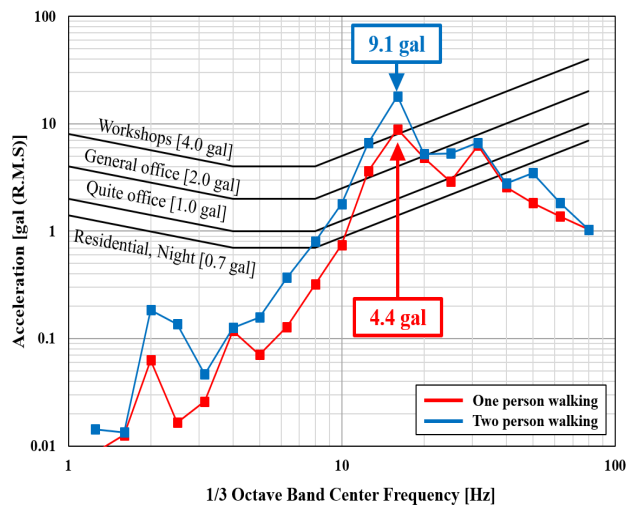
(c) Walking vibration of R-C



(d) Walking vibration of S-A



(e) Walking vibration of S-B



(f) Walking vibration of S-C

Fig. 7. Walking vibration serviceability by ISO 10137

지 않을 수 있다. 또한, 학교 모듈러에서도 인체 민감 주파수 영역대를 벗어나 초과하여 진동이 느껴지지 않을 수 있지만, 학교 특성상 다수의 인원이 진동 발생 시에는 진동 문제가 발생할 수 있어 바닥 강성의 증가, 진동 저감 장치 설치 등 진동 저감을 위한 방안이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 철골 모듈러 건축물의 바닥진동 저감을 위한 동조질량댐퍼 개발의 일환으로 수행된 선행 연구로서 모듈러 건축물의 바닥 구조형식에 따른 진동 특성을 분석하였다. 학교 모듈러의 경우 바닥진동 저감을 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 모듈러 바닥구조에 따라 고유주파수가 상이할 뿐만 아니라 동일한 구조 조건이라 하더라도 시공 오차 등에 따라 고유주파수가 미세하게 다를 수 있기 때문에 미세 강성 조절을 통하여 각 모듈 별 고유주파수에 맞도록 동조 질량댐퍼를 현장에서 조정 가능한 기능이 있어야 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 수행된 한국건설기술연구원 주요사업의 결과물임(No.20240090-001).

참고문헌(References)

- [1] Cho, B.-H., Kim, H.-J., and Ko, G.-H. (2007) The State of Art in the Modular Construction in Korea, Magazine of the *Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.19, No.1, pp.112-119 (in Korean).
- [2] Lee, S.S., Bae, K.W., Park, K.S., and Hong, S.Y. (2013) An Experimental Evaluation of Structural Performance for the Beam to Column Joints in Unit Modular System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.255-265 (in Korean).
- [3] Lee, S.S., Park, K.S., Hong, S.Y., and Bae, K.W. (2015) Behavior of C-Shaped Beam to Square Hollow Section Column Connection in Modular Frame, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.5, pp.471-481 (in Korean).
- [4] Jang, D., Oh, K., Kang, C., and Lee, K. (2019) Seismic Performance Evaluation of H-Shape Beam-to-Column Connection in Modular System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.5, pp.339-347 (in Korean).
- [5] Lee, D.Y., Cho, B.H., Hong, P.G., and Ha, T.H. (2019) Seismic Performance Evaluation of Beam-Column Connection of Unitized Floor System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.2, pp.85-96 (in Korean).
- [6] Oh, K., Kim, S.-H., Shin, K.-J., Yoon, B.-I., and Lee, K. (2020) Structural Performance Evaluation of Modular Connection Using Specially Fabricated Blocks, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.4, pp.257-267 (in Korean).
- [7] Lee, J.M., Jang, O.Y., and Kim, J.S. (2014) Study on Recognition and Satisfaction of Modular Housing through the Post Occupancy Evaluation, *Journal of the Korean Housing Association*, KHA, Vol.25, No.5, pp.63-71 (in Korean).
- [8] Lim, S., Chung, J.H., Seol, W.J., and Heo, J. (2021) A Study on the Planning Factors of Modular Housing through the Post-Occupancy Evaluation, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol.37, No.1, pp.67-76 (in Korean).
- [9] Lee, E.J., Lee, M.J., and Hyoun, C.K. (2021) Evaluations of Vibration Serviceability for Two Structural Types of Modular House, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, KIAEBS, Vol.15, No.2, pp.111-121 (in Korean).
- [10] Park, H. (2015) *User Satisfaction Improvement for Military Facilities Based on Post Occupancy Evaluation*, Ph.D. Dissertation, Seoul National University of Science and Technology, Korea (in Korean).
- [11] Kim, J.S., Jo, M.J., and Kim, S.H. (2016) A Study on Evaluation of Floor Vibration for Steel Frame Modular Housing, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.20, No.1, pp.104-111 (in Korean).
- [12] International Organization for Standardization (2007) *Bases for Design of Structures - Serviceability of Buildings and Walkways against Vibrations*, ISO 10137: 2007, ISO, Switzerland.

요 약: 철골 모듈러 바닥구조 시스템에 따른 바닥진동에 대한 특성을 분석하기 위하여 거주용 모듈러 3식과 학교 모듈러 3식에 대하여 바닥진동 성능평가를 수행하였다. 바닥진동 성능평가 결과, 학교 모듈러가 거주용 모듈러에 비하여 저 주파수 영역대에 분포하고 있었다. 보행 진동 실험 결과, 일부 모듈을 제외하고 대부분 모듈이 ISO에서 제시하고 있는 기준치를 만족하지 못하여, 바닥진동 저감에 대한 대책 마련이 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어: 바닥진동, 철골 모듈러, 바닥구조 시스템, 충격 가진 진동시험, 보행 진동
