

진동실험을 통한 슬래브구조물의 사용성 평가

An Experimental Study on the Serviceability Evaluation with Vibration Test of RC Slab

Dongbaek Kim^{a,*}, Gichan Ryu^{b,2}

^a Department of Civil Engineering, Hankyong National University, 327 Chungang-no Anseong-si, Kyonggi-do, 456-749, Republic of Korea

^b Department of Civil Engineering, Hankyong National University, 327 Chungang-no Anseong-si, Kyonggi-do, 456-749, Republic of Korea

ABSTRACT

Recent building structures are superior in its ability but they are light weight and long span, and so have problems of vibration. In general, the serviceability of RC slabs was known to be good against vibration because of its hardness. However, recent high-rise apartment slabs are mostly light and long, the serviceability of RC slabs due to vibration could be a problem. In this paper, a basic investigation about vibration problems of RC slabs was performed. Basic information and its influence on vibrations of RC slabs were revealed. Also, its serviceability against vibration was examined. Many tests were conducted for natural frequency of building, for example load of two persons walking and one person leaping etc.

KEYWORDS

Problems of vibration
Serviceability of RC Slab
High-rise apartment
Natural frequency
Load of two persons walking and one person leaping

최근의 건축구조물은 대형화되어 가고, 경량화와 유연화에 따라 진동에 의한 사용성 문제가 제기되고 있다. 일반적으로 RC슬래브의 경우 강성이 우수하여 진동에 대해 비교적 사용성이 우수한 것으로 알려져 있으나, 최근에 시공되고 있는 초고층 아파트의 경우 슬래브가 경량화 되어가고 장스팬을 갖게 되어 이에 대한 사용성의 검토가 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기초적인 연구로 RC슬래브에 대하여 진동에 의한 사용성을 검토하여 보았다. 실험에 사용된 구조물은 충남 천안에 위치한 지하1층 지상5층 규모의 구조물이며 교사로 사용되고 있는 구조물이다. 실험은 모래주머니에 의한 충격하중으로 감쇠율과 구조물의 고유진동수를 측정해 보았으며 가속도센서를 이용하여 1인보행, 2인보행, 1인뛰때의 사용성을 검토해 보았다.

진동문제
RC슬래브의 사용성
고층 아파트
고유 진동수
두 사람이 걸거나 한 사람이 뛰는 하중

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-31-670-5143. Fax. 82-31-896-4674.
Email. dbkim@hknu.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Jun. 09, 2014
Revised Jun. 10, 2014
Accepted Jun. 27, 2014

1. 서론

최근의 건축물은 사회적으로 요구의 증가로 초고층 구조물의 수요가 증가하고 있으며, 재료의 발달이 병행되며 구조물의 초고층화가 실현되고 있다. 이에 따라 구조엔지니어들은 초고층건축물을 우수한 조건으로 접근하려 노력하고 있다. 이러한 초고층 구조물에 있어, 슬래브는 요구조건에 따라 휨강성이 우수하고 다이어프레이밍 거동을 통하여, 건축구조물의 바닥재로서 그 구조적인 성능은 우수하다. 하지만, 초고층프로젝트의 특성상, 자중을 감소시키는 것이 구조엔지니어에게는 매우 필요한 설계요소이며, 이를 위하여 보다 경량인 재료를 사용하게 된다. 이는 곧 강성의 약화로 입주민들의 사용성이 저하되고 있는 실정이다. 일반적으로 철근콘크리트 구조물은 매우 강성이 높아서 슬래브의 진동에 대해서는 안전하고 사용성이 우수한 것으로 알려져 왔으나 최근 서울시 광진구에 위치한 테크노마트 건물의 경우, 그 구조재료가 철골 구조로서 내부 진동문제가 커다란 문제(대한건축학회, 2011)가 되기도 하였다. 따라서 철골구조물에 슬래브를 시공한 합성구조물에는 이에 대한 검토가 필요하다고 사료된다. 본 연구에서는 이러한 슬래브 진동에 관한 문제점을 알기 위한 기초연구로서 중저층 규모의 철근콘크리트 슬래브에 대해 진동에 의한 영향을 분석하고, 이 결과를 ISO(International Standard Organization) 기준 및 기타 외국의 기준에 적용하여 사용성을 평가하고 고층의 철근콘크리트 구조물 또는 철골구조 RC슬래브에 대한 사용성 평가의 방향을 제시하고자 한다.

2. 진동에 대한 사용성 평가기준

2.1 국내의 평가기준

국내에는 아직 건축물의 설계 시 적용할 진동에 대한 기준을 나타낸 자료가 미흡하며, 다만 소음진동 규제법 시행규칙에 소음진동 허용 기준치를 제시(한국소음진동공학회, 1995)하고 있으나, 진동의 사용성을 평가할 기준은 사실상 없다. 그러나, 국내에서도 수직진동 허용 제한치 제안을 위한 연구가 진행(우운택, 2000)되었으며, 건축물 또는 교량의 바닥 시스템에 대한 허용 제한치 제안이 주를 이루고 있다. ISO 및 AIJ의 수직 진동 제한치를 우리나라 사람의 인지 수준과 비교하기 위하여 진동대를 이용한 인지실험을 연구결과 실험결과와 같이 ISO 및 AIJ의 기준과 비교하였을 때, 우리나라 사람이 인지하는 수준이 해외 기준의 제한치보다 다소 높게 나타났으며(홍갑표 1998), 슬래브의 사용성 검토 시 주거용 구조물의 경우 ISO 기준을 사용할 경우 '약하게 인지함'으로 성능한계를 설정하여야 하고, AIJ 설계기준 사용 시 '인지하지 못함' 수준으로 설정하여야 하는 것으로 분석되었다. 또한, 해외의 대표적인 진동평가방법에 대하여 각각의 특성을 분석하고, 각 평가방법을 상호 비교한 연구에서는 진동 평가방법의 올바른 활용을 위한 지침과 국내 조건에 맞는 진동 평가법 개발에 대한 방향을 제시하고자 하였다.

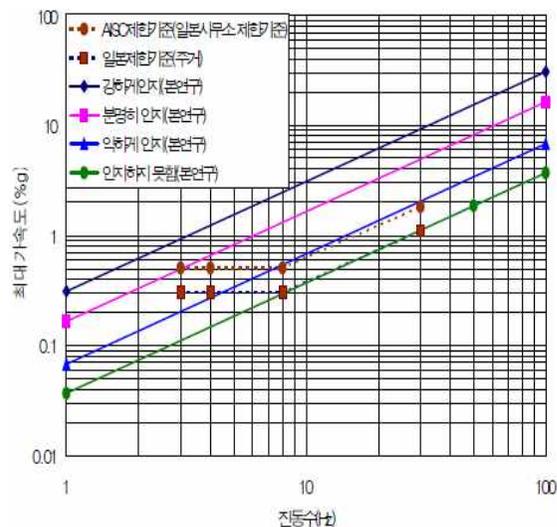


Fig. 1. Perception test for vertical vibration

2.2 국제표준화기구(ISO) 평가기준

Table 1. ISO code for structural zoning

구조물 용도	진동수 구분 (RMS, m/sec ²)		
	f<4	4≤f<8	8≤ f
기본	0.005 √4/f	0.005	0.005f/8
주거용도	0.01 √4/f	0.01	0.01f/8
사무소용도	0.02 √4/f	0.02	0.02f/8
공장용도	0.04 √4/f	0.04	0.04f/8

Table 2. ISO code for vibration

시단대	건물용도별 진동레벨(dB)			
	병원	주거	상법	공업
낮	56	60~66	66	72
밤	54	57	66	72

ISO에서는 진동에 대한 인체의 진동 반응에 대한 기준을 「제2부 : 건물 진동(1Hz~80Hz)」은 ISO 2631-2 : 2003)에서 가이드라인을 설정하고 있다. ISO2631-2 : 1983은 구조물의 용도를 주거용도, 사무소용도, 공장 용도 등으로 구분한 후, 인간이 느끼는 최소감지 기준(base curve)에 근거하여 다음 Table 2 및 Table 3과 같이 구조물 용도에 따른 허용 기준을 제시하고 있다.

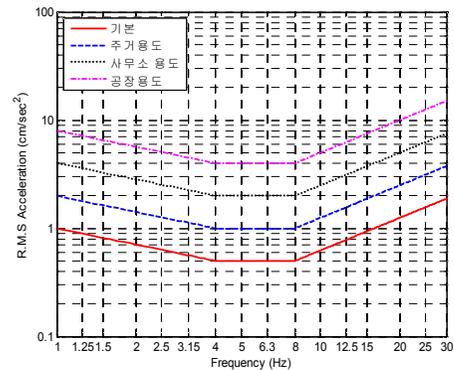
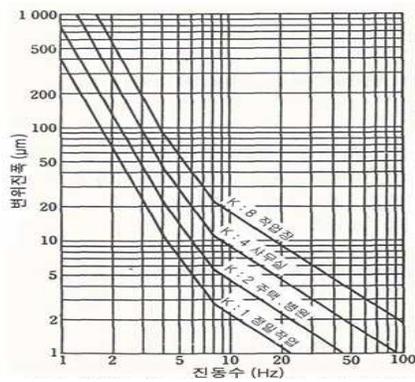


Fig. 2. Performance evaluation curve of ISO2632-2

2.3 일본건축학회(AIJ)의 평가기준

일본건축학회(AIJ) 기준[2]에 따라 인간의 진동반응을 확률적으로 정의하고 있어, 이를 구조물의 진동성능으로 평가할 수 있다. AIJ 기준의 적용범위는 거주 환경으로서의 성능을 유지하는 관점에서, 사람의 동작과 설비 기기 등에 의해서 건축물 바닥에 발생하는 연직 진동을 평가하는 경우 적용하고 있다. 진동에 대한 평가 대상은 건축물의 구조적으로 일체성을 유지하고 있는 바닥 슬래브를 대상으로 하며, 또한 대상으로 하는 건축물의 용도를 주거용도, 사무용도 및 이와 유사한 바닥으로 정하고 있다.

Table3. definition of serviceability on AIJ (단위:cm/sec²)

레벨	진동수(Hz)		ISO 2631-2 :1989 대응
	3≤f<8	8≤f≤30	
V-10	0.81	0.101 f	base curve(0.71)
V-30	1.36	0.170 f	주거용도(1.41)
V-50	2.00	0.250 f	주거-사무용도
V-70	2.90	0.363 f	사무소용도(2.83)
V-90	4.92	0.615 f	공장용도(5.66)

Table4. AIJ code for serviceability

비 고	진동종별I (연속진동)			진동종별II (충격진동)	진동종별III (충격진동)	
	등급I	등급II	등급III	등급III	등급III	
주거	거실, 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
사무실	회의, 응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반 사무실	V-3	V-5	V-5	V-10	V-30

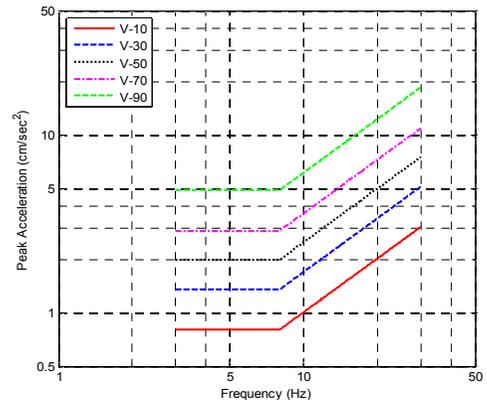
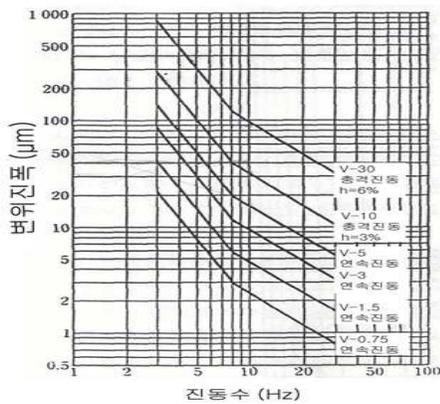


Fig. 3. AIJ code for vertical vibration

수직 진동에 대한 사람의 진동 지각 확률에 따라 성능평가 곡선을 정의하고, 이를 근거로 슬래브의 성능을 설정하는 형태이며, 10%의 사람이 느끼는 레벨을 V-10으로 하여 90%의 사람이 느끼는 경우를 V-90으로 나타낸다. AIJ 거주성능 평가 기준은 바닥진동의 권장값, 허용값 등은 제시하지 않고 각 바닥의 성능을 어느 레벨에 위치를 부여할 것인지는 기본적으로 설계자의 판단에 맡겼다. 따라서 허용 값을 제시한 여타의 규정에 비해서는 모호한 부분이 있다.

3. 슬래브의 사용성 평가 실험

3.1 실험개요

철근콘크리트 슬래브의 진동 거동에 관한 데이터를 취득하기 위하여 경기도 안성에 위치한 학교 건물에 대하여 진동 측정 실험을 실시하였다. 대상 구조물은 7.5m×6.0m의 스패를 갖는 슬래브이며 4면이 큰보에 지지되고 내부에 작은보를 배치하여 1방향 슬래브구조이다. 또한 슬래브 두께는 12cm에 5cm누름모르타르와 25mm화강석마감으로 구성되어 있다. 대상구조물의 구조평면도를 Fig. 4에 나타내었다. 실험은 구조물의 30kgf의 모래주머니를 이용하여 고유진동수와 감쇠율을 측정하였으며, 실제 사용에 의한 슬래브의 진동을 측정하기 위하여 일반체중을 가지고 있는 보행자에 대한 실험을 실시하였다. 특히 걸을 때와 뛸 때, 2인이 걸을 때를 구분하여 측정하였다. 가진과 측정에 대한 전반적인 흐름은 Fig. 5와 같다.

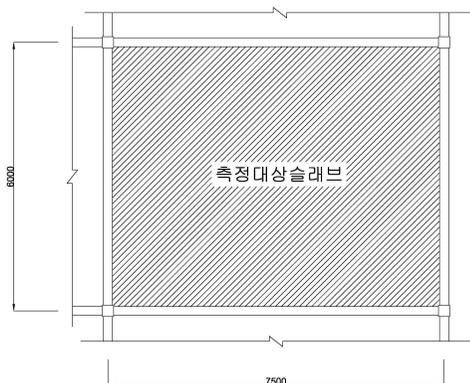


Fig. 4. Structural plan

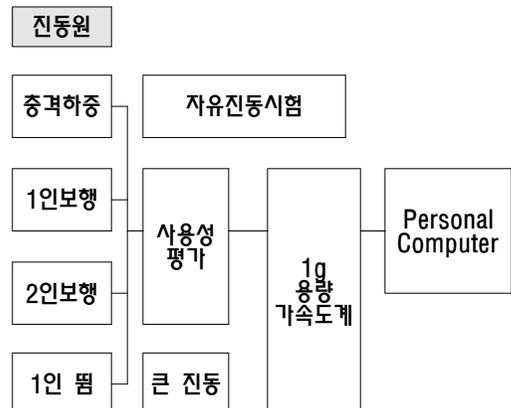


Fig. 5. Flow chart for vibration test

3.2 실험방법

3.2.1 모래주머니에 의한 충격 가진(加振) 실험

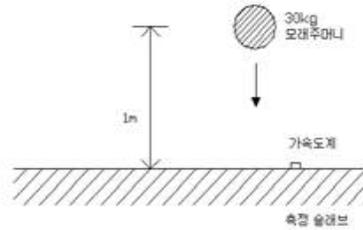


Fig. 6. Outline of impact test by sand bag

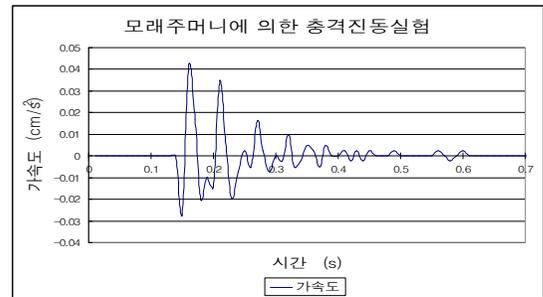


Fig. 7. Test result of impact test

모래주머니에 의한 충격진동은 1차 모드의 고유진동수와 감쇠율을 측정하기 위하여 실시하였다. 충격하중이 작용하면 구조물의 최대응답이 나타난 후 구조물에는 고유한 진동특성을 가지고 진동이 발생하게 되며, 감쇠비에 의해 구조물의 진동이 상쇄된다. 실험은 Fig. 6과 같이 30kg의 모래주머니를 측정점에서 약 30cm 떨어진 지점의 1m 높이에서 자유낙하 시킨 후 가속도를 측정하였다. 실험 결과, 최대 가속도가 0.04 cm/s²로 측정되었다. (Fig. 7)

3.2.2 보행자에 의한 加震 실험

몸무게 70kgf(700N)의 사람을 기준으로 하여 보행시의 바닥슬래브 진동에 대한 실험을 수행해 보았다. 실험은 사람이 일반적인 걸음으로 보행할 때와 뛸 때를 가정하여 실험을 수행하였으며, 유사한 질량의 사람이 동시에 걸으면 그 응답이 증폭되는 정도를 알아보기 위하여 2인 보행시의 가속도 진동 파형을 측정하였다. 1인 보행 시 응답 최대 가속도는 0.0058 cm/s²로 나타났으며, 가속도 응답의 형태는 동일한 가속도 진동 파형이 반복하여 나타났다. 또한 1인 뛸 때의 응답 최대 가속도는 0.015cm/s²로 나타났다. 그리고 충격량이 증폭될 것으로 예상되는 2인이 동일한 주기를 가지고 보행하는 경우의 응답최대 가속도는 0.008cm/s²로 나타났다.

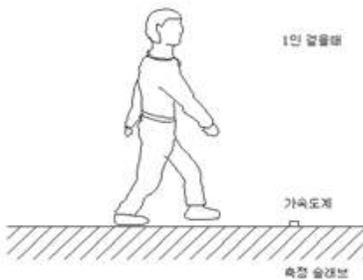


Fig. 8. Outline of human walking

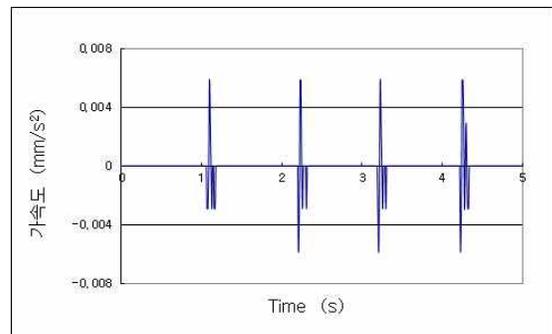


Fig. 9. Test result of human walking

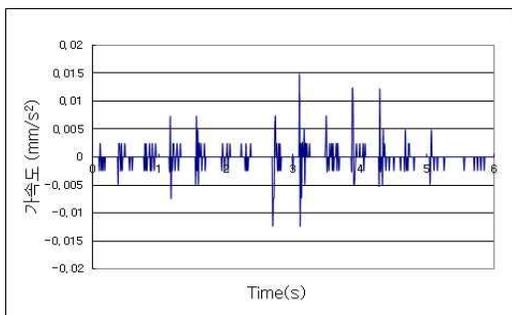


Fig. 10. Test result of human running

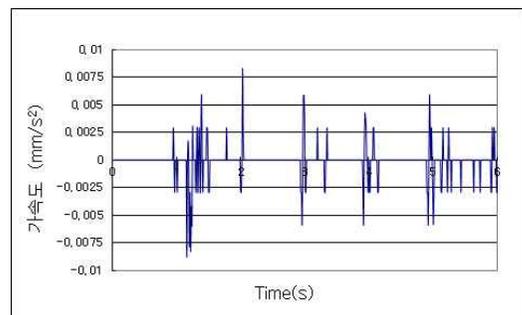


Fig. 11. Test result with two persons

4. 실험결과와 고찰 및 분석

4.1 고유진동수의 계산

고유진동수 f 는 해석적으로 유효질량(M_e)과 유효강성(k_e)을 이용하여 다음 과 같이 구할 수 있다. (大崎順彦, 1996)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e}{M_e}} \quad (1)$$

식 1에 의해 해석적으로 구한 슬래브의 고유진동수는 20.8Hz로 이며, 측정결과 1차모드의 고유진동수는 대체적으로 21.4Hz로 측정되었는데, 두 값은 거의 유사하였다.

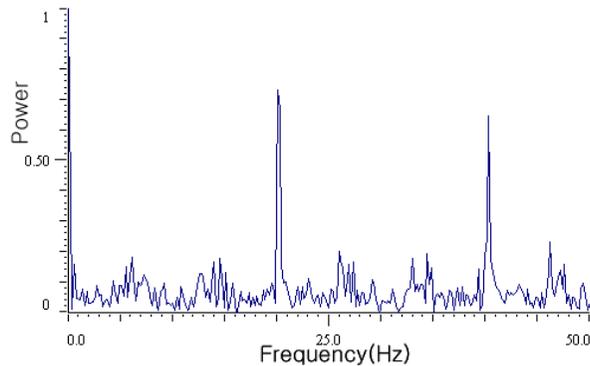


Fig. 12. Natural frequency (21.4Hz)

4.3 사용성 검토

1인 뿔 때, 2인 보행, 1인 보행시의 가속도응답을 Fig. 9 ~Fig. 11에 나타내었으며, 사용성 평가를 위해서 각 가진력의 최대가속도 응답을 Table 6에 정리하였다. 1인 뿔 때의 가속도 응답형태는 가진력이 측정점에 가까워질수록 가속도의 최대값이 증가하고 있으며 측정점에서 멀어질수록 최대값은 감소한다. 그러나 1인 보행 시와 2인 보행 시의 경우 대체적으로 비슷한 최대 가속도 값을 나타내고 2인 보행시의 경우 진동이 서로 간섭하여 가속도 응답이 다소 복잡하게 나타나고 있는데, 이 실험결과를 이용하여 변위의 진폭을 구하였다.

실험결과를 일본 건축학회의 평가 곡선과 ISO에서 제시한 평가곡선에 적용하여 보면 충격력에 의한 진동의 경우 K4나 V-3보다 아래(●)에 위치한다. 그리고 연속진동의 경우도 K2나 V-1.5보다 아래(■)에 위치한다. 즉 실험대상 구조물은 Fig. 13과 같이 ISO기준이나 일본건축학회 기준이하이므로 진동에 대하여 사용성이 우수한 구조물로 판단된다. 실험대상 구조물은 저층의 기둥, 보, 슬래브 전체가 철근콘크리트 구조물이어서 이러한 결과가 나왔다 사료되며, 고층의 콘크리트 구조물이나, 철골구조물의 슬래브에 대한 실험이면 다른 결과가 나오리라 판단되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다 판단된다.

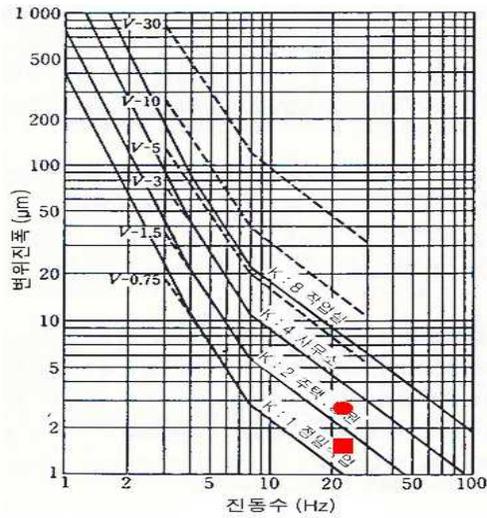


Fig. 13. Test result of serviceability

5. 결 론

본 논문에서는 철근콘크리트 슬래브의 진동에 의한 사용성 평가를 일본건축학회에서 제시한 평가기준에 적용하여 수행하여 보았다. 이상으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 이용된 저층의 RC 구조물에 대하여 슬래브의 고유진동수를 측정하여 그 강성을 추정된 결과 측정대상 건물의 고유진동수는 21.4Hz, 감쇠율은 3.2%로 나타났다. 이는 고유진동수가 15Hz이상으로 입주민들이 구조물의 진동으로 인한 불편함이 없는 것으로 판단된다.

(2) 저층형 철근콘크리트 슬래브의 사용성을 ISO기준 및 일본건축학회에서 제시한 슬래브의 진동성능 평가곡선을 이용하여 평가한 결과 사용성이 우수한 것으로 조사되었다.

(3) 본 연구를 바탕으로 초고층 건축물 및 철골구조 건축물에 적용하는 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

- Architectural Institute of Korea (2011), Investigation of Vibration Accident of the Techno-mart Building
- 大崎順彦,(1996), “建築振動理論”, 彰國社,
- 日本建築學會,(1991), “建築物の 振動에 關する 居住性能評價指針・同解説”
- 稻田 泰夫外9人, (1990), “實務者のためめの建物診断”, 丸善
- 日本建築學會, (1990), “鐵筋コンクリート構造計算規準・同解説”, 技報堂
- Woo, WT, et, (1997), “Evaluation of Serviceability on the Vertical Vibration of the Composite Slabs with Metal Deck-Plate”, Architectural Institute of Korea autumn conference, Vol 17, No 2, pp.995-1000
- Woo, WT, (2000), “Estimation of Natural Frequency of Reinforced Concrete Slab”, Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 4, No.4, pp.219-223
- Hong G-P, Chun, H-M, (1998), “Study on the Estimation of Amplification Factor for Vertical Vibration of Building”, Journal of the Architectural Institute of Korea - Structural series, Vol 15, No. 4, pp.293-301
- The Korean Society for noise and vibration, (1995), “Noise and Vibration Manual”
- Lee, M-J, Nam, S-W, Han, S-H, (2006), “Probability Based Determination of Slab Thickness Satisfying Floor Vibration Criteria” Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 17, No 5, 687-694