

초고층 건축물의 수평진동에 대한 인지도 평가

Perception Threshold for Horizontal Vibration of Tall Buildings

조강표*·정승환**·조수연***

Cho, Kang-pyo · Jeong, Seung-hwan · Cho, Soo-youn

ABSTRACT

In this paper, perception threshold for horizontal vibration of tall buildings was investigated. After a comparative study of human comfort criteria for wind-induced vibration in foreign countries being made, perception threshold was recorded by increasing acceleration in the range of 0.2Hz through 1.2Hz of frequency in horizontal vibration experiments, and perception of subjects was examined by a proper questionnaire. Also, the results obtained from experiments of horizontal vibration were compared with Japanese standard(AIJES-A001-2004).

Keywords: perception threshold, horizontal vibration, tall buildings, human comfort criteria.

1. 연구 배경 및 목적

건설기술의 발달과 국내의 협소한 토지의 효율적으로 이용에 대한 필요성, 문화적·사회적인 요구로 건축물이 고층화되어가고 있다. 초고층 건축물은 지진하중보다 풍하중에 더 많은 영향을 받으므로 설계시 풍하중이 고려되어야만 한다. 바람에 의한 건축물의 과도한 진동은 거주자들에게 현기증이나 시각적 불안감 등과 같은 불편감을 유발시키기 때문에, 쾌적한 건축 환경을 제공하기 위해서는 초고층 건축물의 사용자가 지각할 수 있는 진동의 크기를 제한할 필요가 있다.

국외의 많은 연구진에 의해 건축물 진동의 “지각 임계점(threshold of motion perception)”에 대한 연구가 진행되어 왔다(Soliman 1963; Chen & Robertson 1972; Chang 1973; Irwin 1978; CTBUH 1981; Kanda et al. 1994). 지각임계점에 대한 연구는 주로 실험실에서 진동대를 이용하여 진폭을 변화시키면서 사인파의 진동을 발생시키는 조건에서 수행되었다. 실험대상 주체들이 어떤 진동크기에서 지각을 하는지 확률통계해석을 통해 임계 지각점을 정한 것이다. 최근에 Kwok et al.(2005)은 초고층 건축물의 풍진동을 모사하기 위해 2축 진동대에서 0.125Hz-1.00Hz 범주의 주파수 영역에 대해 사인파가 아닌 무작위 진동(random vibration)에 대한 인간의 지각임계점과 거주성능 평가기준에 대해 보고하였다.

본 연구에서는 국외 바람에 의한 풍진동 사용성 평가기준을 검토한 후, 초고층 건축물의 수평진동에 대한 인지도를 평가하기위해 진동대를 사용하여 0.2Hz~1.2Hz의 주파수에서 가속도를 증가하여 지각 인지도를 측정하고, 실험에 적합한 설문지를 제작하여 실험자들의 느낌을 조사하였다.

* 정회원 · 원광대학교 건축학부 조교수, Ph.D., Email: kpcho@wonkwang.ac.kr

** (주)CKP 풍공학연구소 수석연구원, Ph.D., Email: manager@ckpwind.com

*** 학생회원 · 원광대학교 대학원 건축공학과 석사과정 Email: jo1256@wonkwang.ac.kr

2. 국외 풍진동 사용성 평가기준

2.1. 일본기준(AIJES-V001-2004)

일본기준은 건축물의 목표성능을 유지하는 관점에서 강풍으로 인해 건축물에 발생하는 수평진동을 평가하는 경우에 적용하도록 하고 있다. 대상으로 하는 진동수의 범위는 0.1Hz~5Hz까지로 저층부터 고층까지 건축물의 고유진동수를 포함하고 있다. 바람에 의한 수평진동의 거주 성능 평가는 그림 1과 같은 성능평가곡선으로 표시한다.

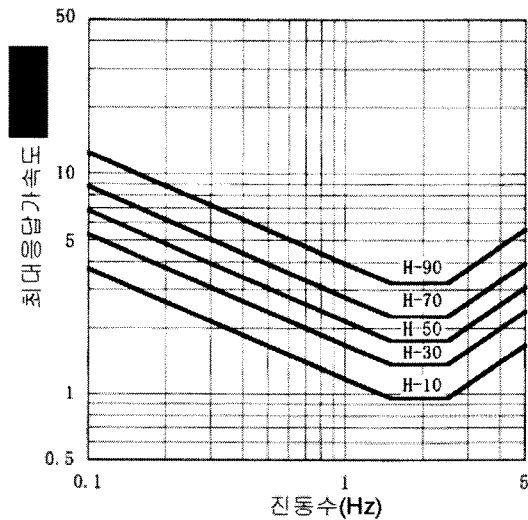


그림 1 바람에 의한 수평진동에 관한 성능평가곡선

2.2. 일본기준, 캐나다기준, ISO 6897의 풍진동 사용성 평가기준의 비교

표 1은 일본기준, 캐나다기준, ISO 6897의 풍진동 사용성 평가기준을 가속도 척도, 평가시간, 허용가속도의 의존성, 재현기간, 실험근거 순서로 비교한 것이다.

표 1 국외 진동사용성 평가기준의 비교

기준	가속도 척도	평가시간	허용가속도의 의존성	재현기간	실험근거
일본기준 (AIJES-V001-2004)	최대가속도	10분	건축물의 고유진동수 목표성능	1년	정현파진동 (moving room)
ISO 6897	RMS가속도	10분	건축물의 고유진동수	5년	정현파진동 (moving room)
캐나다기준 (NBCC 1995)	최대가속도	1시간	건축물의 용도	10년	정현파진동 (moving room)

3. 수평진동에 대한 진동 인지도 평가

3.1 수평진동의 특징

사람의 진동감각은 병진 진동만의 경우와 회전 진동을 수반한 경우에 서로 다를 것이고, 시각, 청각 등 진동감각에 영향을 주는 요인은 많다. 바람에 의한 건축물의 진동은 지층 건축물의 경우에는 풍 방향의 진동이 탁월하지만 고층 건축물의 경우에는 수평 2 성분의 병진 진동과 회전 진동의 합성으로 대단히 복잡하다. 건축물의 풍진동은 시간적 및 공간적으로 불규칙하게 변화하는 외력을 받는 상태에서의 불규칙 진동이기 때문에 여러 가지의 진동수 성분의 응답파를 합성한 것으로 되어 단일의 진동수만으로 나타내지 않는다. 그러나 보통의 고층 건축물 등에서는 병진진동의 1차 고유 진동수 성분이 탁월하게 나타난다. 특히 여기에서 평가 대상으로 들고 있는 가속도의 파형은 불규칙하며 비교적 부드러운 진폭변조를 동반하는 1차 고유 진동수만의 조화진동으로 볼 수 있다. 실제로는 2 방향의 병진 진동과 비틀림 진동이 합성되어 나타나므로 각각의 큰 진동 성분이 비틀림 진동과 병진진동 사이에 교대로 나타나는 경향이 있다. 각각의 최대 값에 관한 비틀림 진동과 병진진동을 독립한 진동으로 생각하여 평가해도 좋을 것이다. 또 병진 2 성분의 최대 응답이 양 방향 동시에 나타나는 경우는 거의 없다. 따라서 각각 독립으로 생각한 2 방향의 병진 진동 (일반적으로는 풍 방향과 풍 직교 방향)의 어느 한쪽의 최대 가속도 값이 합성된 진동의 최대 가속도 값과 거의 일치한다고 생각해도 큰 차이는 없다. 단, 건축물 단부에서는 비틀림 성분이 작용하는 경우가 있기 때문에 주의가 필요하다. 또한 비틀림 진동에 수반되는 회전운동이 진동 감각에 미치는 영향은 상능 평가 곡선에서는 반영되어 있지 않다. 단, 여기에서 취급하는 진동은 지각기관을 대상으로 하는 면도 있어 진동 진폭이 작고 평면 단부에서의 병진 진동으로 대처해도 거의 동일한 평가가 가능하다고 판단된다.

3.2 실험내용

수평진동에 사용한 진동대는 1축 진동대로서 크기는 3m×3m이고, 주파수는 0.1Hz에서 50Hz까지 가속도는 $\pm 1g$ 씩 조작가능하다. 진동대와 진동대 Controller는 그림 2와 그림 3에서 보이고 있다.

그림 4와 그림 5는 수평진동실험에 사용한 진동하우스로 외관은 5m(가로)×4m(세로)×2.6m(높이)의 크기로 일반 조립식 부재를 사용하여 제작하고, 내부의 인테리어는 우리가 생활하고 있는 집의 환경과 유사하게 제작하였다.

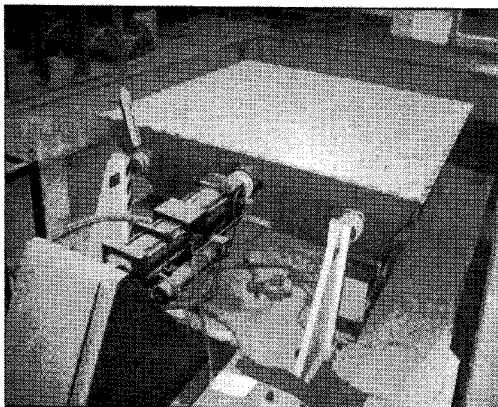


그림 2 진동대(Shaking Table)

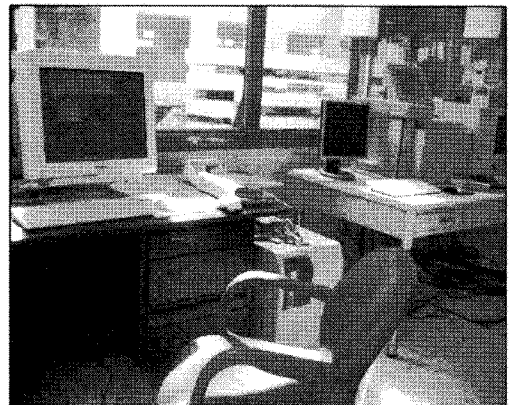


그림 3 진동대 Controller

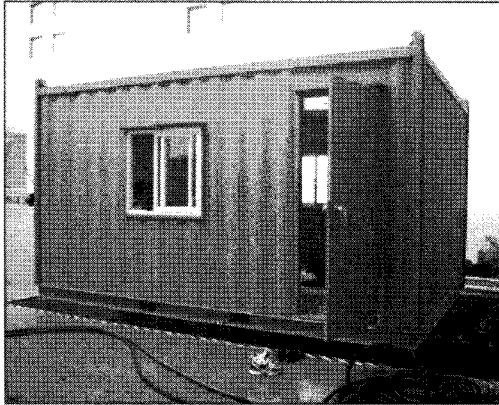


그림 4 진동하우스 외관

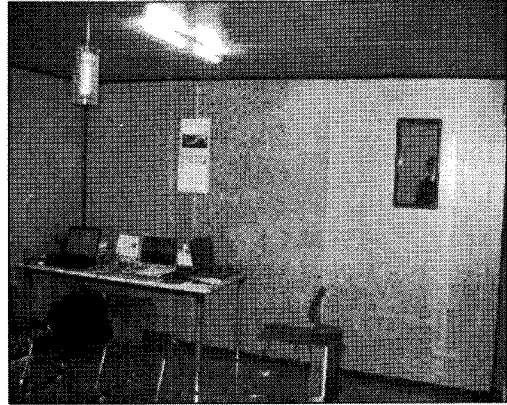


그림 5 진동하우스 내부

실험에서 남녀구별 없이 신체 건강한 청년 40명을 대상으로 수평진동에 대한 인지도를 평가하였다. 40명의 실험대상자를 8명씩 5개 조로 나누고, 0.2Hz, 0.3Hz, 0.4Hz, 0.5Hz, 0.6Hz, 0.7Hz, 0.8Hz, 0.9Hz, 1.0Hz, 1.1Hz, 1.2Hz의 11개의 주파수에서 가속도 한 개당 30초씩 실시하고, 가속도를 점차 증가시켜 실험자들의 수평진동에 대한 지각임계 가속도를 측정하였다. 또 실험에 적합한 설문지를 제작하여, 실험자들이 진동을 인지하였을 때 자세와 진동을 느끼게 된 이유, 느낌을 작성하도록 하였다.

3.3 실험결과

그림 6은 각 주파수대 별로 실험자들의 진동에 대한 지각 인지도를 누적 백분율로 만든 것이다. 그림 6에서 보는 것과 같이 각 주파수대별로 가속도의 크기에 따라서 인지하는 정도가 달랐다. 즉 주파수가 높아질수록 낮은 가속도에서 많은 인원이 진동을 지각하는 것을 알 수 있다. 그러나 주파수 0.3Hz에서는 3번째 가속도 측정지점인 2.94cm/s^2 에서 70% 이상이 진동을 지각한 반면에, 주파수 0.4Hz에서는 같은 가속도 레벨에서 60% 정도도 인지하지 못하는 것으로 나타났다.

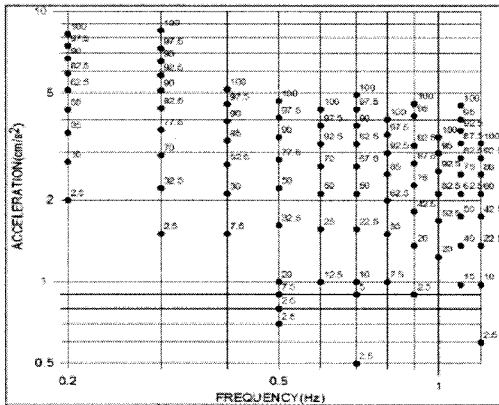


그림 6 수평진동에 대한 지각 분포도

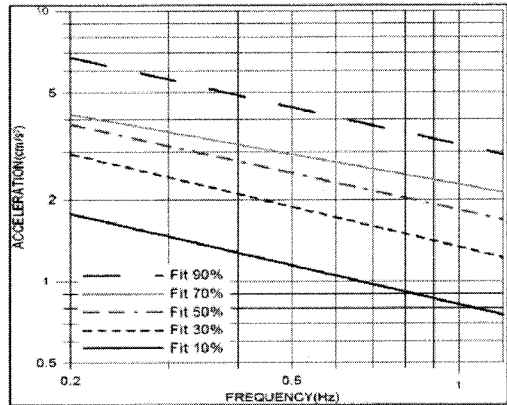


그림 7 수평진동에 관한 성능평가곡선

그림 7은 그림 6의 수평진동에 대한 지각 분포도를 바탕으로 지각인원의 10%, 30%, 50%, 70%, 90%로 조정된 성능평가곡선이다. 그림 7의 성능평가곡선을 그림 1인 일본기준의 성능평가곡선과 비교해보면, 본 연구의 실험에 의한 성능평가곡선에서의 진동을 지각하는 가속도가 일본의 성능평가곡선의 것보다 같은 주파수에서 약간 낮은 것으로 나타났다.

수평진동 후 작성한 설문지의 내용에서 감각에 의해서 지각하는 사람들이 대부분이었지만 실내의 진동이 나 걸어 놓은 달력의 흔들림과 창문 밖이 흔들려 보인다는 시각적 지각과 구조물의 비격대는 소리(청각)로 지각 할 수 있었다는 실험자들도 있었다. 또 앉아 있을 때보다 서있을 때 더 빨리 진동을 지각했다는 실험자도 있었다.

4. 결론

본 연구진에서 건축물의 수평진동에 대한 인지도를 평가한 결과, 주파수가 높아질수록 낮은 가속도에서 많은 인원이 진동을 지각하는 것을 알 수 있었다. 또한, 수평진동의 지각은 감각뿐만 아니라 시각적 지각과 청각적 지각도 수평진동에 대한 인지도를 측정하는데 영향을 준다는 것을 확인 할 수 있었고, 거주자의 자세에 따라서 진동을 인지하는 정도가 다르다는 것을 알 수 있었다.

현재 국내에는 풍진동에 대한 사용성 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 내풍설계기술자들과 구조기술자들이 임의적으로 국외의 기준을 사용하고 있다. 본 연구의 실험으로 얻어진 성능평가곡선에서 진동을 지각하는 가속도가 일본의 성능평가곡선보다 같은 주파수에서 약간 낮다는 것을 알 수 있다. 국내에 보다 적합한 풍진동 사용성 평가 기준을 얻기 위해서는 수평진동에 대한 진동 인지도 실험을 통한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 “이상기후 대비 시설기준 강화” 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 조강표, 홍성일(2006) 초고층 건축물의 진동사용성 평가기준의 검토 및 고찰, **한국풍공학회지**, 10(1), pp.73~82.
- 김동우, 하영철, 김종락(2006) 수평진동에 대한 고층건축물의 사용성 평가방법, **한국풍공학회 학술발표회 논문집**, (9), pp.49~56.
- 조강표, 홍성일, 정승환, 조수연(2006) 초고층 건축물의 수평진동 사용성 평가, **한국유체공학학술대회 논문집**, (1), pp.105~108.
- Chen, P.W., and Robertson, L.E.(1972). Human Perception Thresholds of Horizontal Motion, *J. Struct. Div., ASCE*, 98(ST8), Proc. Paper 9142, pp.1681-1695.
- Chang, F.K.(1973), Human Response to Motions in Tall Buildings, *J. Struct. Div.,ASCE*, 99(ST6), pp.1259-1272.
- Committee 36, Council on Tall Buildings and Urban Habitat(1981). *Motion Perception and Tolerance. Chapter PC-13, Monograph on Planning and Design of Tall Buildings*, Volume PC: Planning and Environmental Criteria for Tall Buildings.

- Hansen, Robert J., Reed, John W., and Vanmarcke, Erik H.**(1973). Human Response to Wind-Induced Motion of Buildings, *J. Struct. Div., ASCE*, 99(ST7), pp.1589-1605.
- Irwin, A.W.**(1978). Human Response to Dynamic Motion of Structures, *The Struct. Engr*, 56A(9), pp.237-244.
- Isyumov, Nicholas**(1994), *Criteria for Acceptable Wind-Induced Motions of Tall Buildings*, CTBUH Conference, Rio de Janeiro.
- ISO 6897-1984(E)**. *Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion(0.063 to 1 Hz)*, International Organization for Standardization, Geneva.
- Kanda, J., Tamura, Y., Fujii, K., Ohtsuki, T., Shioya, K., and Nakata, S.**(1994). Probabilistic Evaluation of Human Perception Threshold of Horizontal Vibration of Buildings(0.125 Hz to 6.0 Hz), *Presented at the ASCE Structures Congress and the IASS International Symposium*, Atlanta.
- Kwok, K.C.S., Burton, M.D., and Hitchcock, P.A.**(2005), Human Perception of Tall Building Motions in Strong Wind Environments, *The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Eng.(APCWE-IV)*, Seoul, Korea, pp.248-262.
- National Research Council of Canada**, *National Building Code of Canada, User's Guide-NBC 1995 Structural Commentaries(part 4)*.
- Soliman, J.I.**(1963). Criteria for Permissible Levels of Industrial Vibrations with Regard to Their Effect on Human Beings and Buildings. Proc. Symp. Measurement and Evaluation of Dynamic Effects and Vibrations of Constructions, *The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures(RILEM)*, (1), pp.111-147.
- Simiu, Emil, and Scanlan, Robert H.**(1986), *Wind Effects on Structures(2nd ed.)*, John Wiley & Sons, New York, pp.192-193.
- Wiss, John F., and Parmelee, Richard A.**(1974), Human Perception of Transient Vibrations, *J. Struct. Div., ASCE*, 100(ST4), pp.773-787.
- 日本建築學會(2004), 建築物の振動にする居住性能評価指針・同解説, 2004.