

초고층 빌딩의 헬스장 구조소음 및 진동 대책

A Study on the Noise and Vibration Reduction at Supports Center on a Tall Building Apartment

○ 박해동* · 백재호* · 이홍기*, 전중균**

Park Hae Dong, Back Jae Ho, Lee Hong Ki and Chun Chong Keun

Key Words : Structure-Born Noise(구조소음), Noise Criteria(소음허용치), Running Machine(런닝머신), Human Body Motion(신체운동), Supports Center(운동시설)

ABSTRACT

아파트의 층간소음저감을 위한 다양한 기술이 개발되고 있다. 콘크리트 건물의 단일층을 경계로한 소음저감을 위한 공기음의 투과손실을 증가하는 방법이 주로 적용되고 있으나, 철골조 초고층아파트 스포츠 시설 운영시 이에 대한 대책으로 공기음의 대책과 구조음의 대책을 두단계에 걸쳐 수립하였다. 초고층 아파트 내부에 스포츠 시설의 배치는 이를 이용하는 사용자에게 편리성의 주지만 철골조의 특성상 충격성 진동원이 발생하는 스포츠 시설은 상하부층인 아파트에 소음진동의 연장으로 인해 이를 방지하는 설계가 요구된다. 일반적인 아파트의 층간 소음진동문제는 이를 발생시키는 상부거주자의 예절과 층간 소음진동 저감 기술이지만 아파트내부의 동일층을 경계로 위치한 스포츠 시설은 시설의 사용성에 반해 하부층에 미치는 영향을 기술적으로 저감하여야 한다. 입주한 초고층아파트의 스포츠 시설에서 발생하는 소음진동 민원문제를 풀기 위하여, 하부층 민원인이 느끼지 못하는 수준의 소음과 진동 허용치를 상호 결정하고 이를 만족하기 위한 차음 및 구조소음 설계를 수행한 사례이다.

1. 서론

공동주택의 소음문제는 주로 상하간 또는 세대간의 생활소음에 의해 유발되고 있다. 이들 소음의 유형은 주로 아이들이 뛰거나 물건을 떨어뜨려서 발생하는 충격진동이나 음향기구나 악기등에 의한 소음이 인접 세대에 전파하여 소음진동 피해를 유발시키고 있다. 하지만 공동주택의 고층화나 대형화에 따른 거주자의 편리성을 위해 모든 생활시설을 공동주택 내부에 설치할 경우 소음진동을 유발하는 스쿼시, 에어로빅, 체력단련장등 스포츠시설은 이들 시설의 배치가 소음진동 해결에 최우선의 문제이다. 공동주택에서 문제시 되고 있는 층간소음은 보편

적인 관점에서 이미 익숙한 환경으로 상호 주의와 법적 기준 제정등을 통해 소음을 개선하고 있으나 공동주택내부의 스포츠 시설에 의해 발생하는 소음진동은 기존에 익숙한 생활소음이 아니라 생활의 리듬을 변화하고 예측 불가능한 소음문제로 나타나고 있어 주거자에게 새로운 불만요소로 나타나고 있다. 즉 이러한 시설에서 발생하는 소음진동이 인접 아파트 거주자에 미치는 피해는 소음진동의 크기에 관계없이 단지 느낌만으로도 불쾌하게 여기게 되며 된다. 또한 스포츠 시설의 가동이 중단되지 않고는 소음진동에 항상 노출된다는 관념이 더 큰 불만을 야기하고 있어 스포츠 시설의 원활한 사용성과 인접 혹은 세대간 아파트거주자의 소음진동 피해를 최소화하기 위해서는 공동주택 설계시 소음진동 유발시설의 배치와 주변 아파트 거주자에서 피해를 방지하는 근원적인 대책을 수립하여야 한다.

* 알엠에스 테크놀로지(주)
E-mail : rmstech@rmstech.cokr
Tel : (041) 556-76, Fax : (041) 556-7603

** 선문대학교 기계 및 제어공학부

보편적인 아파트의 소음설계기준인 미국 공조냉동냉방 기술자협회(ASHRAE)의 아파트 기준과, ISO 2631 주거지 밤기준의 진동추천치를 적용한 소음진동 대책을 수립하였다. 이러한 설계기준을 적용한 대책을 시공한 결과(1차) 소음진동레벨은 설계기준 이하를 만족하였으나 초고층 아파트의 특성상 매우 낮은 압소음, 스포츠시설의 새벽녘 가동에 의한 수면방해, 스포츠시설을 사용하는 사람층 과도한 운동특성과 더불어 소음피해의식이 점차 증가하는 결과를 야기하여 스포츠시설 하부층의 거주자 기준으로 소음진동에 대한 민원문제의 대책(2차)을 수립하였다.

2. 소음진동 측정 및 허용치(1차)

2.1 소음 및 진동설계 기준설정

스포츠시설에서 발생하는 소음 및 진동에 대한 대책 수립을 위한 소음진동 추천치를 표 1과 2에 나타내었다. 이를 기준으로 제안한 1차 소음진동 허용치를 표 3에 나타내었다.

표 1 미국 공조·냉동·냉방 기술자 협회(ASHRAE)기준

실명	NC치	dB(A)	실명	NC치	dB(A)
개인주택	25-30	35	호텔의 서비스	40-45	55
아파트먼트	30-35	40	극장	25-30	35
중역실, 회의실	25-30	35	음악당	20-25	30
개인 사무실	30-35	40	녹음 스튜디오	15-25	25-30
일반 사무실	35-40	45	레스토랑	35-45	45-50
전산실, 현관로비	40-45	50	카페테리아	40-50	50-55
개인병원, 수술실	25-30	35	백화점	35-45	40-50
일반병원, 검사실	30-35	40	백화점 1층, 지하층	40-50	50-55
병원 대합실	35-40	45	수영장	40-55	50-60
교회	25-30	35	체육관	30-40	40-45
학교, 교실	25-30	35	호텔, 연회장	30-35	40
도서관	30-35	40	호텔로비, 복도	35-40	45
영화관	30-35	40			

표 2 사용 용도별 ISO 2631-2 진동기준(rms)

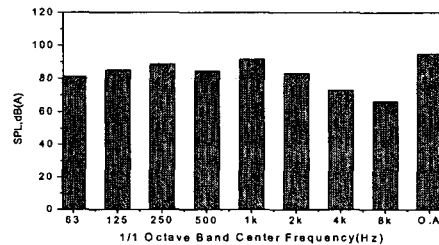
지역	시간	연속진동(dB)	충격진동(dB)
병원의 수술실, 정숙을 요하는 지역		51 (3.5mm/s ²)	54 (5.0mm/s ²)
주거지	낮 밤	57 (7.0mm/s ²) 54 (5.0mm/s ²)	60 (10.0mm/s ²)
사무실		63 (14.1mm/s ²)	66 (19.9mm/s ²)
공장, 작업장		69 (28.2mm/s ²)	72 (39.8mm/s ²)

표 3. 스포츠 센터 주변 주거시설의 1차 소음진동허용규제

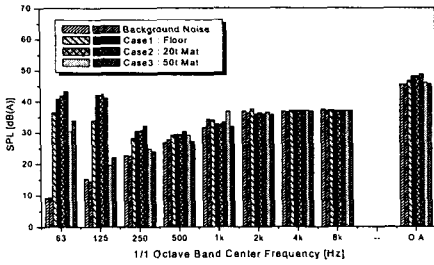
구분	소음/진동허용규제치	관련 규격 및 내용
아파트 거실 및 내실 소음허용규제치	40dB(A)	※. 미국 공조 냉동 냉방 기술자 협회(ASHRAE) : 아파트 수준
아파트 거실 및 내실 진동허용규제치	0.5gal, 0.125mm/s[rms]	※. ISO 2631 주거지 밤 DIN 4150 무감기준
아파트 거실 및 내실 구조소음 관련 진동허용규제치	0.015mm/s[rms], 구조소음(160Hz), 40dB(A)]	※. L. Cremer, M. Heckl, Structure-Borne Sound,

2.2 대책전 소음 및 진동측정

하부층 아파트 내부에서 측정한 소음 및 진동특성은 그림 1, 2와 같다. 스포츠 시설내부의 소음은 최대 95dB(A)이며 하부층 아파트의 소음은 런닝머신 4대가동 시 52dB(A)정도로 나타나고 있다. 아파트 내부의 주파수별 소음 특성을 보면 소음이 문제가 되는 영역은 주로 125Hz이하의 저주파수 소음으로 나타났다.



(a) 스포츠 시설의 소음레벨



(b) 스포츠 시설 하부층의 소음(1인 가동)
 그림 1. 소음측정 결과

진동 측정결과 런닝머신 4대 가동시 헬스장 바닥은 94gal(OA, rms)이며, 하부층 바닥은 런닝머신 가동시 6.87gal(rms)이며, 웨이트기구는 사용자의 실수에 의한 최대높이에서 낙하시 진동측정 결과 최대 1.4gal(rms)로 아파트의 진동응답에 런닝머신이 주된 영향을 미치고 있다.

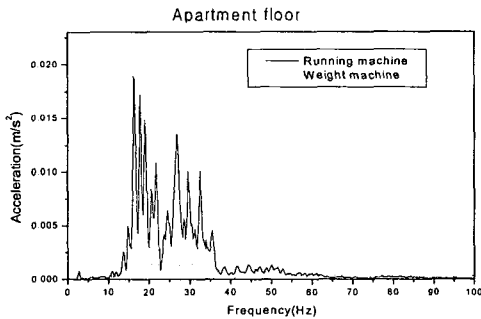


그림 2. 하부층의 진동측정 결과

2.3 1차 소음 및 진동 대책

스포츠센터 하부층 아파트 바닥의 진동수준은 6.8gal로 진동허용규제치보다 약 10배 정도 큰 진동수준을 나타내고 있다. 대책으로는 스포츠 시설의 동적 구조변경(강성 및 질량보강)이 아파트 바닥의 구조 변경보다 유리하므로 스포츠 시설 바닥의 고유진동수를 증가시키거나 바닥의 모빌리티를 약10배 정도 개선하여야 한다. 이와 더불어 저주파수의 소음에 대한 대책으로 63, 125Hz에서 현재 약 44dB(A)의 소음을 12dB 이상을 줄일 수 있는 공기차음 바닥이 요구된다. 따라서 그림 3과 같이

공기음 차단과 바닥의 방진을 고려하여 스포츠 시설 바닥에 강성보강한 후 문제시 되는 16Hz 주파수에 방진효과가 있는 뜬바닥 구조를 채택하였다.

2.4 1차 대책후 소음진동 측정 결과

Running Machine에 대한 소음진동 저감을 위한 대책 수립에 따른 시공후 모든 런닝머신 가동시와 설계하중 이상의 체중을 가진 사람의 인위적인 충격을 발생한 운동시 스포츠시설 하부 아파트 바닥과 실내에서의 소음과 진동을 측정하였다. 시험운영시 진동수준은 0.3~0.6gal(rms), 소음수준은 26~34dB(A)로 나타났다. 스포츠 센터 하부층의 암소음과 스포츠 시설 가동시 소음레벨을 그림 4와 5에 나타내었다. 측정결과를 보면 스포츠 시설 가동시 소음레벨은 암소음에 비해 약 9dB 증가하였으며 25Hz의 1/3옥타브 중심주파수에서의 소음이 하부층에 지배적으로 나타나고 있다.

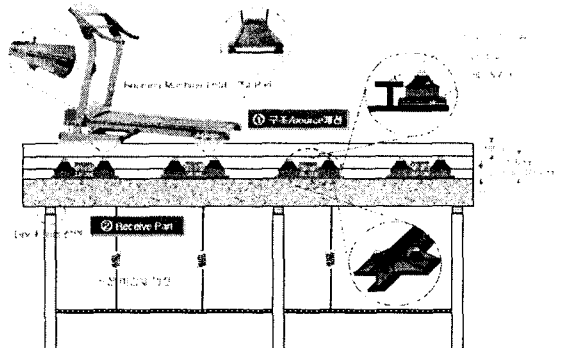


그림 3. 스포츠 센터 바닥의 1차 소음진동 저감대책

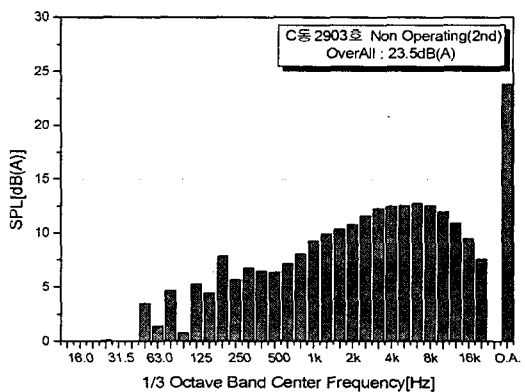


그림 4 1차 대책 후 암소음 측정 결과

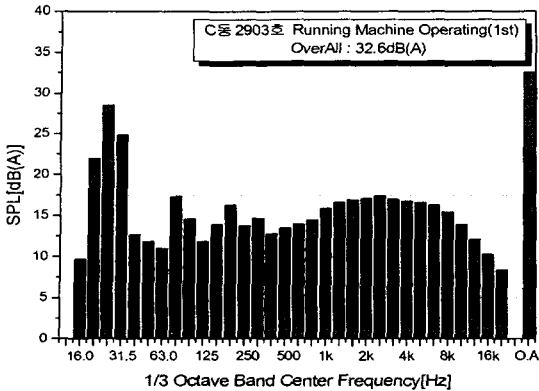


그림 5 1차 대책 후 소음 측정 결과

2.5 추가 대책 : 런닝머신의 가동조건 제약

스포츠 시설의 런닝머신을 사용하는 사용조건에 따라 소음레벨이 다르게 된다. 기술적인 소음설계기준과 이를 영향을 받는 아파트 거주자의 입장차이는 얼마의 소음기준이 합리적인가를 결정하여야 하며 또한 기술적으로 해결이 가능한가를 검토하여야 한다.

대책후 보편적으로 추천하는 소음진동 설계기준을 만족하고 있으나 소음에 노출되는 아파트 주거자의 입장을 고려할 때 추가적인 비용 도출이 없는 스포츠 센터의 가동조건을 제약하는 방안을 제시하였다. 즉 런닝머신의 사용시간대, 주행속도등을 제약하는 방법으로, 설계한 체중 70kg인 사람이 약 10km/h로 달릴 시 발생하는 하중에 대한 소음진동 기준으로, 이보다 큰 진동원에 대해서는 소음진동이 설계치를 초과하는 기준을 검토하였다.

검토의 단순화를 위해 사람의 런닝특성은 동일하며 체중은 한국 표준체중표에서 평균체중을 65kg로 하는 정규분포특성을 사용하기로 하며, 사용자의 남녀비율은 동일하고 모든 연령대의 사용자가 동일한 조건에서, 주행속도는 2~12km/h로 가지는 직각분포를 가질 경우, 70kg이상의 체중을 가진 사람이 10km/h이상으로 사용할 확률은 5.62%로 런닝머신의 사용시간대, 주행속도등을 제약하는 대책을 수립하였다.

3 소음진동 측정 및 허용치(2차)

3.1 소음 및 진동설계 기준설정

1차 대책수립시 산정한 소음진동의 설계자료와 측정결과를 바탕으로 이들 시설내의 운동기구의 사용제약을 완화하면서 하부층의 주거지역에서 소음진동을 인지하지 못하는 수준의 기준을 제시하고 대책수립을 실시하였다. 따라서 제시한 소음진동허용규제치는 빌딩 내부의 낮은 암소음을 고려하여 결정하였다.

이러한 기준이 민원을 야기할 수 있다는 것과 이 한도까지 소음레벨을 충족하는 설계는 별개로 검토하였으며 2차 대책은 표 4와 같이 소음진동 레벨을 스포츠 센터 하부층에 실현할 수 있는 가장 최선의 대책을 제시하였다. 또한 1차 시공된 바닥과 스포츠센터 바닥의 나머지 영역(신규영역)에 대한 2차 설계안의 적용성도 검토되어야 한다.

3.2 2차 소음 및 진동 대책

기존의 1차 대책기준 40dB(A)에서 약 15dB의 소음저감이 요구되나 기존 시공된 바닥의 동적 강성에 비해 신규 시공할 바닥의 동적강성이 다소 불리한 영역으로 나타났다.

1차 대책후 소음측정결과 공기음 투과에 의한 대책은 1차대책에 의한 2중 뜬바닥 구조로 차음성능을 확인하였으나, 충격성 성분의 진동에 의한 스포츠 센터 구조의 약 18Hz의 1차 공진모드에 의한 구조소음이 문제가 되고 있어 이 응답 주파수를 기준으로 방진효율이 1차 75%에서 97%의 방진효율을 증가하여 바닥의 굽힘모드에 의한 진동저감으로 인한 구조소음을 1차 대책보다 약 18dB 감소시키도록 설계하였다. 그림 6과 같이 뜬바닥 구조의 관성력과 굽힘강성을 증가하게 하였으며, 탄성재질은 방진소자중 성능이 가장 우수한 공기스프링을 적용하였다. 또한 공기스프링의 단점인 시공성, 유지보수, 공압공급장치등은 설치방법을 단순화 하도록 하였으며, 사람의 활동에 의한 스포츠센터 바닥의 유연한 응답의 대변위는 감쇠 및 마찰 감쇠기 설치로 현장조건에 따라 조율하도록 하였다.

표 4 스포츠 센터 주변 주거시설의 1차 소음진동허용규제

구 분	소음/진동허용규제치	관련 규격 및 내용
아파트 거실 및 내실 소음허용규제치	25dB(A)	※. 미국 공조, 냉동, 냉방 기술자 협회(ASHRAE) : 녹음스튜디오 25~30dB(A) 아파트 : 40dB(A) 개인주택 : 35dB(A)
아파트 거실 및 내실 진동허용규제치	0.5gal, 0.125mm/s[rms]	※. ISO 2630무감기준 DIN 4150 무감기준
아파트 거실 및 내실 구조소음 관련 진동허용규제치	0.0028mm/s[rms, 구조소음(160Hz), 25dB(A)]	※. L. Cremer, M. Heckl, Structure-Borne Sound,

3.3 2차 대책후 소음진동 측정 결과

1차 측정과 동일한 조건으로 2차 시공후 런닝머신을 6명의 성인이 7, 12km/h로 가동시에 소음과 진동을 측정하였다. 암소음 평균 24.4dB(A)로 7km/h 운동시 25dB(A), 12km/h 운동시 25.6dB(A)로 최대 운동시 암소음보다 약 1.2dB(A) 정도 상회하는 수준이다. 이는 암소음 영향에 대한 보정조건에서 측정소음도와 암소음도의 차이가 3dB(A) 이내이므로, 대상소음은 설계기준보다 이하가 됨을 확인하였다. 그림 7과 같이 주파수별 소음특성을 보면 동일위치에서 런닝머신이 가동전 25Hz의 암소음이 5dB(A) 이하에서 6명의 성인이 12km/h가동시 1차 대책 후 약 28dB(A)의 소음이 2차 대책후 14dB(A)의 소음레벨을 형성하고 있어, 공기음에 의한 소음보다는 바닥의 굽힘모드에 의한 저주파수의 소음방사가 주된 소음문제로 나타났음을 보여주고 있다. 또한 등청감곡선의 A특성은 25Hz에서 44.6dB의 청감보정값을 가지므로, 실제 방사되는 구조소음은 59dB로 바닥 진동에 의한 청정 마감재와 벽체런너의 마찰음으로 판단된다.

침실에서 측정한 진동결과를 보면 런닝머신을 12km/h로 가동시 0.416[cm/s², O.A, rms]로 나타났다. ISO 2631-2(KS B 0710-2)에서 제시하는 연속진동의 병원의 수술실, 정밀도를 요구하는 실험실등의 중요한 작업장소에 해당하는 등가곡선이하의 진동으로, 보통 주거지역 밤은 이 등가곡선의 1.4배를 추천하고 있어 주거지역의 진동기준은 충분히 만족하고 있는 상태이다.

그림 6 스포츠 센터 바닥의 2차 대책

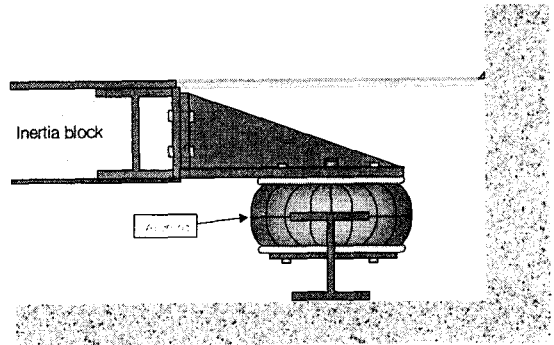


표 5 2차 대책후 소음진동측정 결과

	소음	진동(OA, rms)
background	24.4dB(A)	0.151 [cm/s ²]
7km/h	25.0dB(A)	0.364 [cm/s ²]
12km/h	25.6dB(A)	0.416 [cm/s ²]

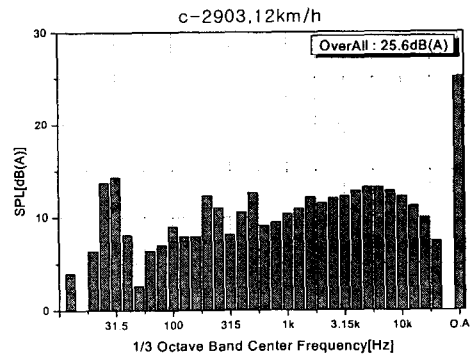


그림 7 2차 대책후 소음측정결과[25.6dB(A)]

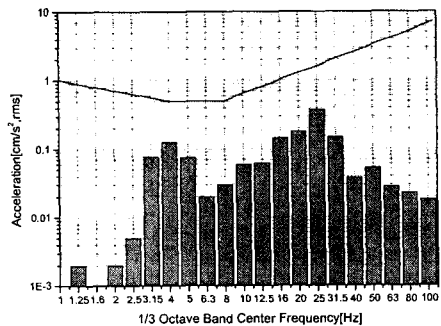


그림 8 2차 대책후 진동측정결과[0.42gal]

(실선은 ISO 2631-2의 병원 수술실에 해당하는 등가반응곡선)

4. 결론

공동주택 내부에 위치한 스포츠 시설의 소음진동을 저감하기 위한 기준과 이를 만족하기 위한 1, 2차 시공 후 소음진동을 측정평가 하였다. 생활 소음과 달리 공동 주택 스포츠 시설의 소음은 이에 노출되는 국내외 각종 소음추천치와는 무관한 민원문제로 도출되었으며, 이에 따른 추가 저감대책을 수행하였다. 소음민원에 대한 대책수립시 소음을 느끼지 못하는 기준선정은 설계 검토시 매우 신중한문제로 얼마의 소음기준이 필요한지와, 또한 기존 구조물에서 기술적으로 성취 가능한 소음기준인지를 상호 보완적으로 협의하였다. 따라서 최소 암소음 이하의 대상소음을 설계기준으로 추가 대책을 수립하였다. 대책후 스포츠센터의 하부 아파트 주거지역에 대하여 암소음이 24.4dB(A)로 스포츠 센터의 최악의 조건에서 측정된 소음이 25.6dB(A), 이는 스포츠 센터에서 발생하는 대상소음이 암소음 이하임을 보여 주며, 사람이 느낄 수 없는 수준으로 나타났다. 진동 또한 사람이 인지할 수 없는 0.5gal 이하의 환경을 구현하였다.

후 기

본 과제는 산업자원부 출연금으로 수행한 지역 전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 지원으로 이루어 졌으며 이의 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 이흥기, 김두훈, 권형오, 반도체 공장에서 미진동제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '94 춘계학술대회 논문집 pp. 52~57, 1994.
- (2) 이흥기, 박해동, 최현, 배기선, 김두훈. 정밀 장비의 미진동 제어 기술에 관한 연구(HDD CELL진동 제어), '95 춘계 학술 대회 논문집 p233-239, 1995.
- (3) 김기철, 최관호, 이동근. 바닥판 진동해석을 위한 보행하중의 모형화, 한국전산구조공학회, pp173-187, 2002
- (4) Hugo Bachmann, Vibration Problems in Structure, Birkhauser Verlag Basel, Boston, Berlin, 1995.
- (5) 이흥기, 김두훈, 김사수, 주파수응답함수를 이용한 고정밀 장비의 진동허용규제치 결정기법에 관한 연구, 한국소음진동 공학회지, 제6권, 제3호, pp. 363~373, 1996.
- (6) Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Hyun Choi, Doo-Hoon Kim, Sa-soo Kim, A New Method of Determining Vibration Criteria for a Vibration Sensitive Equipment Using Frequency Response Function, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 3 pp.1253~1262, August, 1996.
- (7) C. G Gordon, Vibration prediction and control in microelectronics facilities, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 1 pp.149~154, August 1996.
- (8) Eric E. Ungar, Vibration control design of high technology facilities, sound and vibration, July, 1990.
- (9) 박해동, 김강부, 강현승, 이흥기, 초고층 빌딩 스포츠 센터의 충격성 진동으로 기인하는 소음진동 영향성 평가 및 저감대책, '03 춘계 학술 대회 논문집 pp196-201, 2003.