

# 건설소음·진동의 기초이론과 영향

김 재 수

(원광대학교 건축공학과)

## 1. 머리말

생활 주변에서 발생하는 다양한 소음원들 중에서 공장 및 사업장 소음과 건설작업 현장에서의 소음에 대한 불만족 지적률이 최근 급증하고 있는 실정이다. 국내의 경우 “환경부 중앙환경분쟁 조정위원회”에 따르면 1991년부터 1997년 2월까지 환경오염 피해 분쟁 처리건수(122건)중 소음, 진동으로 인한 분쟁이 77건으로 63%를 차지하고 있으며, 이 중 건설현장에서 발생하는 피해가 39건으로 50.6%를 차지하여 가장 강력한 민원의 대상이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 국내에서 사용되고 있는 건설기계 증기등록 현황으로 살펴보면 91년말 26종 15만대에 이르러 급격한 증가추세를 보이고 있으며, 국내 건설경기의 호황 및 수입규제 완화로 인해 수입된 대형기종의 건설기계들도 증가하고 있는 실정이다. 그러나 이렇게 증가일로에 있는 건설기계들은 대부분 100dB 이상의 소음레벨을 갖고 있으며 주파수도 500Hz 이하의 저주파수이기 때문에 일단 소음, 진동이 발생하면 별다른 감쇠없이 멀리까지 전달되어 현실적인 차음 및 방진대책이 매우 어려운 실정이다. 따라서 국내의 경우 갈수록 건설소음, 진동에 대한 대책수립이 절실히 요구되고 있는 실정이나 기존 연구의 부족과 자료의 미비 및 대책방법의 어려움등으로 인해 체계적이고 합리적인 해결안은 마련되어 있지 않으며, 민원 해결차원으로서의 방음시트나 방음 판넬을 설치하는데 그치고 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 건설소음, 진동의 특성과 측정방법, 평가방법 및 영향등을 파악해 봄으로써 보다 효율적인 건설소음, 진동 대책수립을 위한 기초적인 자료를 제시코자 한다.

## 2. 건설소음·진동의 특성

### 2.1 건설소음의 특성

건설소음의 발생형태를 살펴보면 소음은 일반적으로 시간특성에 관련되어 있고, 이를 분류해 보면 표 1과 같다.

### 2.2 건설진동의 특성

건설진동에서 문제가 되는 것은 지면, 특히 건설장비로부터 그다지 멀지 않은 지역의 지면 진동이다. 실제로는 지면의 진동보다 건물의 진동이 문제이지만 건물내의 진동은 층수, 실의 위치, 주변 설치물의 유무등에 따라 현저한 차이가 발생하므로 보통 지표면상의 진동을 문제로 하는 것이 보통이다. 건설현장에서

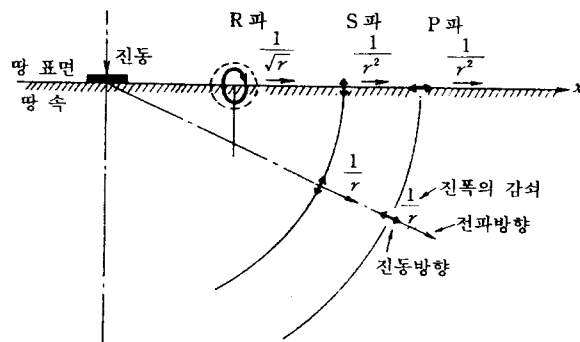


그림 1 P파, S파, R파의 전달

표 1 건설기계의 소음발생 특성

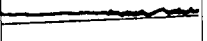
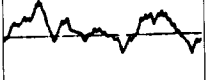


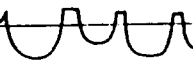
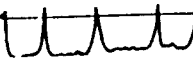
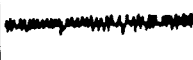



소음의 분류	소음변동 특성	건설기계의 종류	특 성
정상소음		콘크리트 절단기 공기압축기 발동발전기 아스팔트 피니셔	레벨변동이 적고, 대부분 일정한 소음
변동소음		굴삭기, 불도우저, 트랙터셔블, 유압셔블, 로우더 로올러, 그레이더, 압쇄기	레벨이 불규칙하고 연속적으로 일정한 범위로 변화하며 발생하는 소음
충격소음	연속성 	진동 향타항발기 착암기 브레이커 람마 콤팩터 드릴마스터(공압식)	계속시간이 극히 짧은 소음
	반복성 	항타기 · 유압식 · 디젤식 · 드롭식	
간헐소음		콘크리트 브레이커 항타기	간헐적으로 발생하고 계속시간이 수초이상의 소음
분리충격소음		디젤파일해머 포장판파쇄기 람마	발생하는 소음이 각각 독립적으로 분리되어 있는 충격소음
준정상 충격소음		진동파일드라이버	대부분 일정한 레벨의 소음이 각각 극히 짧은 시간간격에 되풀이하여 발생하는 충격소음

표 2 진동형태와 건설기계의 종류

진동의 분류	진동 형태	움직임이 적음	움직임이 많음
연속 규칙 진동		운반식 공기압축기 고정식 공기압축기	
연속 불규칙 진동		콘크리트 레이커 파워쇼벨 진동파일 드라이버	불도우저, 트랙터쇼벨, 호일조다, 덤프트럭
순시간 진동		디젤파일해머 햄머드릴 강구 파괴기	

발생하는 건설진동의 형태와 건설기계의 종류를 살펴보면 표 2와 같다.

일반적으로 지표면을 드롭해머(drop hammer)로 타격할때 지표면에 원형의 진동을 일으키는 경우 그림 1과 같이 먼저 종파가 구면상으로 전달되며 다음으로 횡파, 레리파가 원

통상으로 전달됨을 알 수 있다. 일반적으로 건설현장에서 발생하는 건설기계에 의한 지표면의 진동은 이들 파가 합성된 진동이지만 각 파의 에너지는 레리파가 67%, 횡파가 26%, 종파가 7%의 비율을 차지하고 있어 표면파가 주를 이루고 있다. 따라서 건설진동의 경우

주로 레리파나 황파가 그 대상이 되고 있다.

### 3. 건설소음·진동의 측정 및 평가방법

#### 3.1 건설소음의 측정 및 평가방법

##### (1) 건설소음의 측정방법

###### 1) 국내

국내 소음진동 규제법에 의한 건설소음 규제기준의 측정방법은 표 3과 같다.

###### 2) 일본

건설기계의 소음레벨은 기계의 운전조건과 기계에서의 거리에 의해 각각 다른 값을 갖기 때문에 일본에서는 건설기계의 소음측정방법으로 “建設機械の騒音振動測定要領(案)” 및 “建設機械の騒音測定法(案)”등을 규정하고 있다. 이 안에 따르면 건설기계의 소음레벨 측정을 위한 측정점은 기계를 점음원으로 보고 기계에서 떨어진 위치에 있는 것이 바람직하며, 소음측정점의 기점은 그 기계의 주요 음원위치로 하는 것이 타당하고 기계의 표면이나 엔진실 측판을 기점으로 하는 것이 일반적이다. 그림 2는 측정점의 위치를 나타내고 있다.

##### (2) 건설소음의 평가방법

###### 1) 등가 소음 레벨 ( $L_{eq}$ ; equivalent sound level)

$L_{eq}$ 는 그림 3과 같이 변동하는 소음레벨의

에너지 평균치, 즉 변동음과 같은 에너지를 지닌 정상음레벨을 의미한다. 즉 2개의 소음 에너지가 같을 때 두소음의 심리적, 생리적 영향도 같다는 등에너지 가설에 입각하고 있다. 일반적으로 큰 폭으로 변동하는 소음을

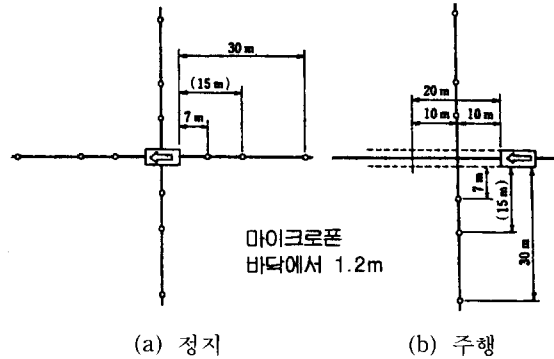


그림 2 건설기계의 소음 측정점의 위치

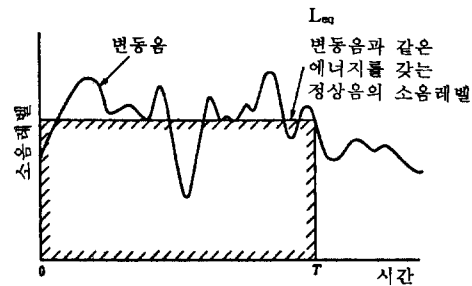


그림 3  $L_{eq}$ 의 개념

표 3 국내 소음진동규제법에 의한 건설소음 측정방법

구분	측정지점	측정위치	측정조건
건설소음 규제기준 측정	피해자측의 부지경계 선중 가장 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점	<ul style="list-style-type: none"> <li>□부지 경계선상 1.2m 높이</li> <li>□장애물이 있는 경우에는 장애물로 부터 1m 떨어진 지점의 1.2m 높이</li> <li>※ 피해 대상건물이 2~5층일 경우 2층에서, 6층이상일 경우에는 2층과 5층에서 창문을 열어놓고 소음도를 측정하여 산술평균</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□마이크로폰을 측정위치에 지지장치로 설치하여 측정하는 것을 원칙으로 함.</li> <li>□손으로 소음계를 잡고 측정시 측정자의 몸으로 부터 50cm이상 떨어져야 함.</li> <li>□소음계의 마이크로폰은 주소음원 방향으로 향함.</li> <li>□풍속 2m/sec이상시 방풍망 부착, 5m/sec초과시 측정 금지</li> </ul>
생활소음 규제기준 측정	건설소음 측정과 동일 - 옥외에 설치된 확성기에 의한 소음도는 소음원 직하지점에서 소음원과 방향으로 50m 떨어진 지점	□건설소음 규제기준과 동일	<ul style="list-style-type: none"> <li>□건설소음 규제기준과 동일</li> <li>□측정소음도의 측정은 대상소음원을 정상적으로 가동시킨 상태에서 측정</li> <li>□배경소음도는 대상소음원의 가동을 중지한 상태에서 측정</li> </ul>

평가하는 평가량중의 하나로 소음을 주어진 시간동안 변동하지 않는 평균레벨의 크기로 환산하는 방법이며, A-보정회로의 값을 기본으로 사용하고 있다.

이 척도는 일반적으로 주관량과의 대응이 좋고, 통계레벨과 달리 에너지 평균치이므로 이론적으로 취급하기 쉽고 단일지표로 나타낼 수 있다는 등의 특성 때문에 미국, 영국, 덴마크등의 많은 나라에서 환경기준을 정하는데 주로 채택하고 있다.

2) NR(Noise Rating) 곡선

ISO 기술위원회 (TC 43)에서는 1957년부터 국제규격의 소음평가 작성법을 위해 심의를 시작하였다. 1959년 청력보호, 회화방해, 심끄러움의 3가지 관점에서 평가법을 입안, 심의하였는데, 이때 제안된 기본 척도가 NR 곡선이다. NR곡선은 NC곡선을 기본으로 하

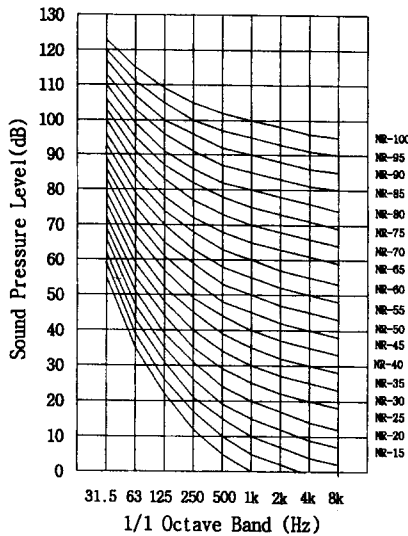


그림 4 NR곡선

고 다른 제안곡선들을 절충한 것으로서 기본적으로는 NC와 동일하다. 즉 소음을 옥타브 분석한 밴드레벨을 보정하여 그 최대치로 판정하는 점선법의 평가수법을 채택하고 있다. 항목별로 볼 때 평가의 신뢰도는 회화방해가 가장높고 청력보호, 시끄러움의 순서이다.

3.2 건설진동의 측정 및 평가방법

(1) 건설진동의 측정방법

국내 소음진동 규제법에서 정한 건설진동의 측정방법은 표 4와 같다.

(2) 진동의 평가방법

ISO에서는 수년간 각국의 연구보고를 수집하고 차량과 기계류의 진동이 인간의 쾌적성과 작업능률에 주는 영향을 평가하여 “진진진동 폭로의 평가에 관한 지침(ISO 2631)”을 제안하였다. 이 평가지침을 대상으로한 진동의 주파수 범위는 1~80Hz이고, 이 주파수범위 내에서 주기적, 랜덤(random), 비주기적 진동에 적용을 하지만 잠정적으로는 연속충격형의 진동에도 적용한다. 피로, 능률 감퇴한계는 그림 5, 그림 6과 같은데, 진동폭로가 이들의 한계를 초과하면 작업능률을 해칠 위험을 초래하며, 피로에 의해 인간의 기능이 저하된다.

4. 건설소음·진동의 영향

4.1 건설소음의 영향

(1) 건설기계소음으로 인한 피해시간대

건설현장은 하루종일 각종 건설소음으로 인한 열악한 음환경에 노출되어 있다고 볼 수 있다. 특히 특정시간대에 발생하는 건설소음

표 4 국내 소음진동규제법에 의한 건설진동 측정방법

구 분	측정지점	측정사항	측정시각 및 측정점 개수	감각보정회로 및 동특성
건설진동 측정	피해자측의 부지 경계선중 피해가 우려되는 곳으로서 진동레벨이 높을것으로 예상되는 지점	<ul style="list-style-type: none"> <li>측정진동레벨은 대상 진동원을 가능한 한 최대출력으로 가동시킨 정상상태에서 측정한다.</li> <li>암진동레벨은 대상 진동원의 가동을 중지한 상태에서 측정한다.</li> </ul>	적절한 측정시각에 2개이상의 측정 지점수를 선정, 측정하여 그중 가장 높은 진동레벨을 측정 진동레벨로 한다.	진동레벨계의 감각보정회로는 별도의 규정이 없는 한 V특성(수직)에, 동특성은 원칙적으로 slow를 사용하여 측정한다.

은 작업의욕 감퇴 및 대화등을 방해하고 있으므로 본 연구에서는 먼저 하루중 어느 시간대가 가장 시끄럽게 느껴지는지를 파악해 보았으며 그 결과는 그림 7과 같다.

그림에서 보면 건설기계소음으로 인해 시끄럽다고 느껴지는 피해시간대는 주로 아침 7시부터 10시까지이며 이 시간대가 전체의 54.1%를 차지하고 있다. 이렇게 오전시간대가 시끄럽다고 생각하는 것은 대부분의 건설기계들이 작업을 시작하는 오전 7시부터 작업준비를 위해 건설기계들을 공회전(idling)이나 공사진입을 위해 발생하는 기계소음 때문으로 파악된다. 따라서 하루중 이 시간대가 건설현장에 근무하는 사람들이나 인근 지역주민들에게도 가장 많은 피해를 줄 것으로 생각된다.

(2) 건설기계소음으로 인한 방해정도

건설현장에서 발생하는 건설소음은 대화, 업무, 휴식, 집중력, 수면등 각종 행위를 방해하고 있으므로 5단계 SD척도를 이용하여 그 지적률을 파악해 보았으며, 그중 비교적 영향력이 크다고 판단되는 척도인 “매우크다”와 “크다”라고 응답한 응답자의 지적률만을 가지고 방해의 정도를 순서대로 나열해보면 그림 8과 같다.

그림에서 보면 건설기계소음으로 인해 가장 크게 방해를 받는 것은 집중력 방해(64.6%)이며 다음으로는 휴식방해(56.5%)와 수면방해(54%) 대화방해(44%), 업무방해(31.5%) 순으로 나타났다. 이중 집중력 방해는 근로자들의 작업능력을 크게 감퇴시킬 수 있는 요인이며 안전사고나 기타 다른 산업재해에 직접적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 세심한 배려가 요구된다고 할 수 있다.

(3) 건설기계 소음의 신경쓰임 정도

건설현장에서 사용되고 있는 건설기계는 건설현장의 특성과 공사 및 작업종류에 따라 매우 다양하지만 사용 빈도와 범위를 고려해 보면 약 17개 정도로 축약할 수 있다. 따라서 건설현장에서 발생하는 17개 건설기계 소음에 대한 신경쓰임 정도를 파악해 보기 위해 5단계 SD척도를 사용하여 응답자들의 주관적 반응을 측정하였으며 그중 비교적 영향력이 크다고 판단되는 “매우 신경쓰인다”와 “꽤 신경쓰인다”라고 응답한 응답자의 지적률을 가지

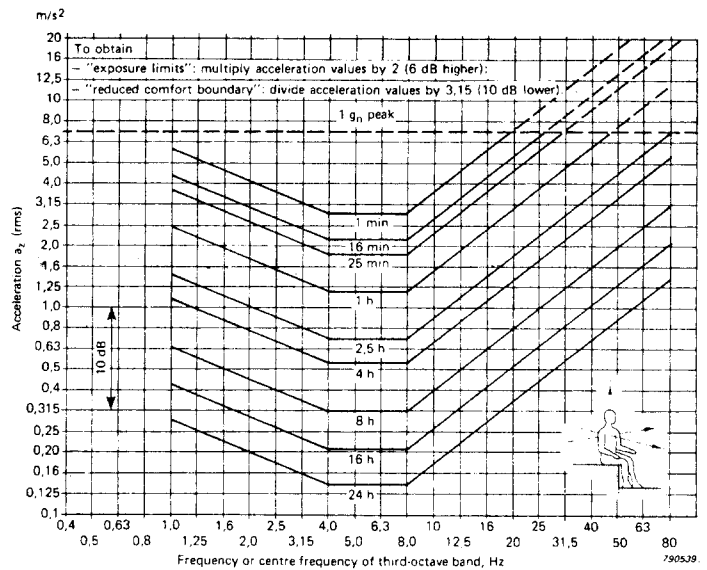


그림 5 피로 · 능률 감퇴경계 (수직진동)

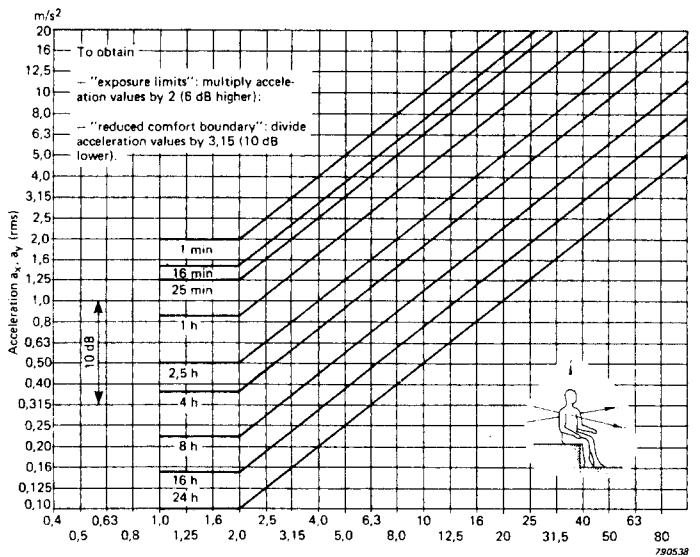


그림 6 피로 · 능률 감퇴경계 (수평진동)

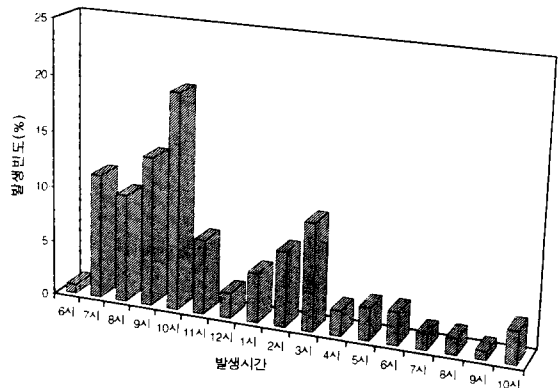


그림 7 건설기계소음의 발생시간

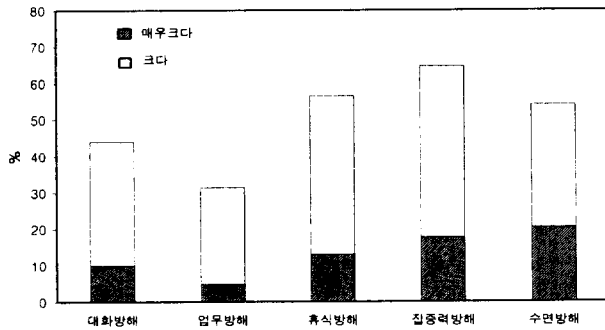


그림 8 “매우 크다”와 “크다”라고 응답한 비율

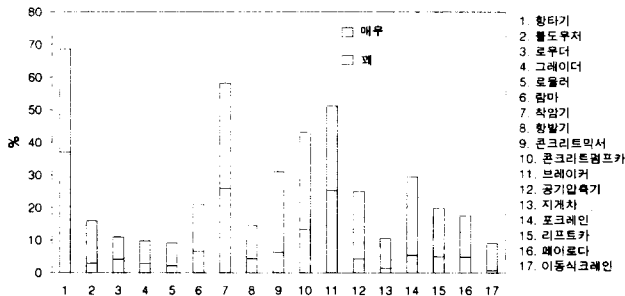


그림 9 “매우 신경쓰인다”와 “꽤 신경쓰인다”라고 응답한 응답자의 비율

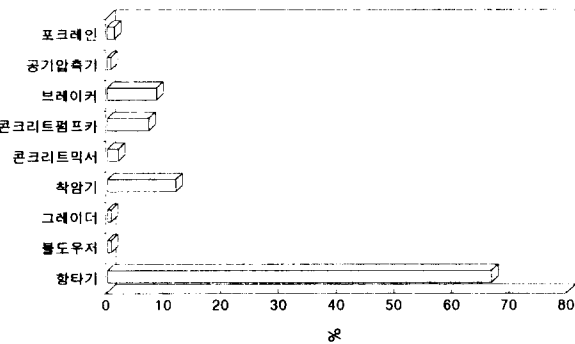


그림 10 가장 시끄럽다고 생각하는 건설기계

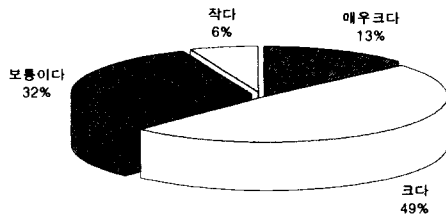


그림 11 건설기계소음에 대한 정신적·육체적인 영향력 정도

고 건설기계에 대한 신경쓰임정도를 파악해보면 그림 9와 같다.

그림 9에서 보면 가장 신경쓰이는 건설기계

소음으로는 첫째가 향타기(68.5%)이며 다음으로 착암기(58.1%), 브레이커(51.1%)등의 순으로 나타났다. 또한 17개의 건설기계에 대해 가장 시끄럽다고 판단되는 건설기계를 파악해 보면 그림 10과 같다.

그림 10에서 보면 향타기가 66.7%를 차지하여 가장 시끄러운 건설기계임을 알 수 있으며 다음으로 착암기(12%), 브레이커(8.7%)임을 알 수 있다.

결국 위 결과를 종합해보면 건설기계소음중 가장 신경쓰이는 건설기계는 향타기, 착암기, 브레이커임을 알 수 있으며 이중 향타기는 다른 건설기계에 비해 가장 시끄러울뿐만 아니라 가장 신경쓰이는 소음으로 나타나고 있다.

#### (4) 건설기계소음으로 인한 정신적·육체적 영향

건설기계소음으로 인한 정신적·육체적인 영향을 조사해본 결과 소음에 의한 영향력이 “매우 크다”와 “크다”라고 응답한 비율이 전체 조사자의 61%를 차지하여 설문대상지의 반절 이상이 정신적·육체적인 영향을 받는 것으로 나타났다.

### 4.2 건설진동의 영향

#### (1) 건설진동이 인체에 미치는 영향

소음의 경우에는 공기의 진동이 귀에 도달하여 소리를 감지한다. 그러나 진동의 경우에는 감각기관이 귀와 같이 부분적으로 존재하지 않고 전신에 분포하고 있기 때문에 전신 어디에나 진동이 전달되더라도 진동감각을 일으키고 또한 직접 장기조직에 물리적 영향을 미쳐 상해를 주는 경우도 있다.

건설진동은 지진진동에 비하면 진동 I의 미진에서 진동 III의 약진의 범위에 속하며 진동원으로부터 100m 이내가 문제이며, 수직진동이 수평진동보다 큰 편이다. 이러한 건설진동은 전신을 흔드는 전신진동과 손, 발, 머리 등을 흔드는 국소진동으로 나눌 수 있으며 1Hz이하의 초주파수 진동은 멀미를 유발하며, 6Hz에서는 허리와 가슴 및 등쪽에 가장 심한 통증을 느끼며, 13Hz에서는 머리가 가장 큰 진동을 느끼고 안면의 불이나 눈꺼풀등이 진동함을 느낀다. 4~14Hz에서 복통을 느끼고, 9~20Hz에서 대소변을 보고 싶게 하며, 무릎에 땀이 나거나 열이 나는 느낌을 받는다. 수

직 및 수평진동이 동시에 가해지면 두배의 자극현상이 나타난다. 일반적으로 건설진동에 대한 주민들의 피해호소는 수면방해, 정서장애, 물적피해등으로 집약되는 것이 보통이며, 주거지역등과 같이 진동을 느끼지 않던 환경에서는 약간의 진동만 발생해도 주민들이 진동피해에 대한 진정서를 제출하는 것이 보통이다.

(2) 건설진동이 건물에 미치는 영향

건설현장에서 발생하는 건설진동은 생활피해와 함께 건물의 파손, 정밀기계 및 자동제어 기계의 고장등을 유발한다. 이중 건물에 대한 진동피해는 기초콘크리트나 벽의 균열, 페인트칠의 떨어짐, 부착물 탈락등의 이상, 기와의 어긋남, 균열등 직접적인 피해와 지반의 변형이나 파괴로 인한 구조물의 부동침하 등의 간접적인 피해가 있다. 일반적으로 건설진동이 발생했을 때 건물에서는 수평진동도 있고 건물의 일부에서만 발생하는 국부진동도 있으므로 땅표면에서의 진동레벨보다 실제 건물에서의 진동레벨이 커지기도 하고 작아지기도 한다. 목조, 경량철골, 블록 등으로 된 건물에서는 진동이 증폭되는 경우가 많아 진동피해가 오히려 커지는 것으로 나타나고 있다.

5. 맺음말 및 제안

도심에서 발생하는 건설소음 및 진동은 많은 민원을 야기시키고 있으며 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 보다 효율적이고 체계적인 차음 및 방진대책이 요구되고 있으나 기존의 연구부족과 자료의 결핍 등으로 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 건설소음, 진동에 대한 보다 합리적이고 효율적인 대책을 수립하기 위해서는 무엇보다도 이에대한 피해정도를 정확히 파악한 뒤 이를 토대로 각 건설기계별, 공종별로 발생하는 소음 및 진동레벨의 주파수특성과 전달 및 감쇠특성에 대한 실태파악이 정확히 이루어져야 할것이다.

또한 실질적으로 이러한 건설소음, 진동을 저감시키기 위해서는 정부차원에서 “소음표시 권고에 관한 규정”을 보다 강화시켜 건설현장

에서 보다 능동적으로 저소음, 저진동형 건설기계의 도입을 유도해야 하며, 건설현장에서는 철저한 현장관리와 함께 형식적인 방음 스크린 및 차음판넬의 설치가 아닌 경로대책을 통한 건설소음, 진동의 저감이라는 보다 구체적인 세심한 설치 및 배치계획이 이루어져야 할 것이다. 더불어 건설현장의 주변의 주민들도 바리케이트를 치거나 무분별한 실행행사가 아닌 지속적인 타협과 대화를 통해 보다 합리적인 해결책을 모색할 필요가 있다고 하겠다.

참고 문헌

- (1) 김재수, “건설소음의 특성과 규제기준,” 원광대학교 건축음향연구실 제1회 건축음향 Workshop, 1997.5, pp. 1~19
- (2) 김재수, 양극영, “건설현장에서 발생하는 건설기계소음에 대한 현장직원의 주관적 반응에 관한 연구,” 한국주거학회지 7권 2호, 1996.10, pp. 99~107
- (3) 김재수, “건설소음 실태와 대책,” 대한건축학회&한국음향학회 제3회 건축음향 Workshop, 1995.2, pp. 131~164
- (4) 정백 譯, 저소음, 저진동 말뚝기초, 엔지니어즈, 1996
- (5) 한국소음진동공학회, 소음진동편람, 1995.12
- (6) 한국소음진동공학회, 건설공사장 환경관리 강습회, 1994.6
- (7) 동아건설산업주식회사, 현장기술지도서 (건설환경관리-소음, 진동), 동아건설산업주식회사 기술연구소, 1993.7
- (8) 太田 宏, 境 友昭, 建設騒音の測定と豫測, 森北出版株式會社, 1983
- (9) 建設機械研究會, 建設機械ハンドブック, 鹿島出版社, 1992
- (10) S. A. Petruszewicz & D. K. Longmore, Noise and Vibration Control for Industrialists, Elek Science, 1974
- (11) Jens Trampe Broch, Mechanical Vibration and Shock Measurements, B&K, 1984.4