

환경 소음·진동의 인체영향 평가에 대한 새로운 접근

⁰정 완섭*, 김 용태*

* 음향진동 그룹 (한국표준과학연구원)

New Approaches to Assessing the Effects of Environmental Noise and Vibration on Human

⁰Wan-Sup Cheung*, Yong-Tae Kim*

Key words: Environmental Noise and Vibration and (환경 소음과 진동), Human Noise and Vibration (인체 소음과 진동), Noise and Vibration Exposure (소음과 진동 피폭), Human effects (인체 영향)

1. 서론

국의 환경 소음과 진동은 이미 세계보건기구(WHO)와 UN산하 환경기관에서 선언한 바와 같이 “전세계인의 문제”(“global issues”)로 분류 인식하고 있으며, 이들 문제점들에 대한 접근은 선진국들의 국민 복지정책의 가장 핵심적 요소로 관리하고 있다. 예를 들어, WHO가 출판한 공중 소음에 대한 지침서[1], 그리고 유럽공동체의 전문가 그룹이 작성한 보고서[2]들은 최근의 환경 소음에 대한 새로운 접근의 필요성, 새로운 측정 및 평가 방법, 그리고 인체에 미치는 복합적 영향들의 새로운 평가 기법 개발, 그리고 환경 개선을 위한 장기적 계획과 실천 방안들을 구체적으로 제시하고 있다.

우리의 환경 소음·진동관련 표준안과 소음진동규제 법규는 아직 단순 물리량적 소음·진동 측정에 의한 환경 평가 수준을 벗어나지 못하고 있다. 이에 반해, 이미 선진국형으로 체질화가 된 국내 환경 문제의 효율적 접근을 위한 선진국형 환경 소음 진동 관리 기술 개발과 국내 토착화 노력이 매우 시급한 실정이다. 이러한 국내의 환경소음의 급속한 변화에 대응하기 위하여 본 논문은 우선 선진국의 핵심 기술 내용을 요약 소개할 뿐 아니라 우리 적극적 대응책에 대한 초안을 제시한다.

2. 환경 소음의 지시치 (indicators)

최근 국외 환경 소음에 대한 접근방법[1,2]은 인체영향을 고려한 지시치(indicators)의 환산 체계에 기반을 두고 있다는 점이 기존의 방법과의 가장 큰 차이점이다. 그리고, 인체영향을 보다 체계적으로 접근하기 위하여 피폭(exposure)에 대한 정량화를 위하여 측정과 환산방법을 구체적으로 정의하고 있다. 이러한 노력의 결실은 2002년 4월 8일 공고된 EU의 “환경소음 정책의 시행 안 (초안)”[3]으로 대표될 수 있다. 본 시행 안의 핵심적 내용은 이미 EU의 소음 전문가 집단에 의한 현황 보고서[2]에서 자세히 소개한 바 있었다. 본 시행 안에는 (1) 피폭자의 소음에 대한 불쾌함(annoyance)를 평가하기 위하여 낮/저녁/밤의 시간 대별 소음 지시치를 통합한 지시치 L_{den} 를 사용하며, (2) 소음에 의한 수면방해를 평가하기 위하여 밤 시간 소음 지시치 L_{night} 를 각각 정의하고 있으며, (3) 이외의 충격, 항공기 소음 등 특수 환경을 고려하기 위하여 보조 지시

치 또한 허용하고 있다.

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right) \quad (1)$$

위 식에서 L_{day} , $L_{evening}$ 그리고 L_{night} 는 등가 소음레벨($L_{Aeq,T}$) 값으로 측정 시간이 각각 낮 시간($T=7:00$ to $19:00$), 저녁 시간($T=19:00$ to $23:00$), 밤 시간($T=23:00$ to $07:00$)에 해당된다. 물론, 측정위치와 시간대 그리고 월 및 년 평균에 대한 방법은 기존의 ISO 1996과 다르지 않다. 이러한 환경소음 지시치(L_{den} , L_{night})로부터 EU 전문가 그룹에서 제시하고 있는 실험식을 사용하여 환경 소음의 불쾌함을 백분율의 정도(%HA: 72 % 이상이 불쾌함을 호소, %A: 50 % 정도가 불쾌함을 호소, %LA: 28 % 이하가 불쾌함을 호소)를 추정할 수 있다. 그러나, 아직 상대적 불쾌함에 대한 신뢰성은 현재 검증 중에 있다. 수면 방해에 대하여는 불쾌함의 평가처럼 아직 정량적 평가 방안(%SA: percentage of people highly annoyed by noise-induced sleep disturbance)은 제안되지 못하고 있는 실정이며, 밤 시간 소음 지시치 L_{night} 의 크기에 따른 수면 정도의 유무만을 판정하고 있는 정도이다.

금번 연구에서는 소음 원의 종류, 예를 들어 도로교통 소음, 철도 소음, 항공기 소음, 충격(impulsive) 소음 그리고 단음/조화(tonal or harmonic) 성분이 강한 (산업체 회전 기계들) 소음에 따라 사람이 느끼는 불쾌함도 또한 같지 않다는 점이다. 이와 같이 소음 원들이 복합적으로 기여하는 환경 평가 또한 매우 중요한 부분이며, 향후 심도 있는 연구를 필요로 하는 분야이다. 이러한 복합적 소음에 대한 체계적 접근을 위하여 필요한 환경소음 지시치를 금번 연구에서는 사용할 계획이다. 현재 고려중인 환경소음 지시치들을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. Environmental noise indicators (objective quantity)

지시치	명칭과 용도	지시치	명칭과 용도
L_{den}	낮/저녁/밤 시간의 가중 등가소음레벨 (EU 표준): Annoyance 평가	L_{night}	밤 시간동안의 등가 소음레벨(EU 표준): 수면방해에 대한 정성적 평가
$L_{Aeq,T}$	시간 T동안의 A-보정 등가소음레벨 (ISO 표준지시치): 연속적 소음 평가치	L_{Amax}	A-보정 최대 음압레벨 (ISO 표준 소음 지시치): 충격 소음 평가치
L_{AE} (SEL)	A-보정 피폭 소음 레벨(일정시간 동안의 전체 피폭 소음 에너지): 간헐적 소음 평가치	L_{dn}	낮과 밤 시간의 가중 등가소음레벨: Annoyance 평가 지시치 (향후 사용을 권장하지 않음)
%HA	72% 이상의 주민이 아주 불쾌감을 표시할 수 있는 환경소음	%A	50% 이상의 주민이 아주 불쾌감을 표시할 수 있는 환경소음
%LA	28% 이하의 주민이 아주 불쾌감을 표시할 수 있는 환경소음	NIPTS	소음에 의한 청각인지치 천이 레벨

위의 도표는 돌발적 혹은 간헐적 충격 소음을 고려하기 위하여 최대 소음 지시치와 피폭 소음 지시치를 각각 포함하고 있으며, 이는 짧은 순간의 높은 각성도(arousal)에 대한 소음의 불쾌함과 수면방해의 정도를 각각 연구하기 위함이다. 그리고, 폭음과 같이 순간적 과도 음압은 청각의 손상을 유발할 수도 있다는 점 뿐 아니라 매우 광범위한 영역의 소음 불쾌감을 유발한다는 점이다. 표 1에서 표시된 청각 손실에 관련된 NIPTS(Noise-induced Perception Threshold Shift)는 전문적 의사의 진단 절차를 거쳐서 얻어지는 실험 결과값이다. 금번 연구에서 NIPTS의 사용은 “소음 피폭 지역의 주민 중 일정 퍼센트 이하가 일정한 NIPTS를 보인다”는 등의 상대적 청각손실의 난청 장도를 고찰하기 위하여 선정한 환경 소음 지시치이다.

표 1에 제시된 처음 6 종의 환경 소음 지시치 들(L_{den} , L_{night} , $L_{Aeq,T}$, L_{Amax} , L_{AE} , L_{dn})은 국제 표준규격 ISO 1996-1(1982)와 1996-2(1996)에 따라 측정된 음압으로부터 환산할 수 있는 객관적 평가 양이다. 이와 달리, (%HA, %A, %LA)는 소음 피해지역의 주민들의 주관적인(subjective) 의견을 반영하는 평가 양이다. 이러한 주관적 평가(subjective assessment)에 대하

여 세계보건기구(WHO)와 소음의 생물학적 영향에 대한 국제위원회(ICBEN, International Commission of Biological Effects of Noise)에서는 2 종류(표준형과 요약형)의 질의서를 제안하고 있다. 본 연구팀은 본 질의서를 우리의 언어와 생활 양식에 적합한 형태로 변경하고 있으며, 곧 출판물("환경소음 평가 질의서"라 명명)로 국내에 소개할 예정이다. 본 질의서는 환경소음에 대한 6 종류의 주관적 평가를, 즉 불쾌감(annoyance), 수면 방해, 활동성 방해(대화, TV 시청 등), 업무 효율 저하, 정신적 침해, 그리고 사회적 활동성 침해를 십 분율(0~10)로 정량화하여 평가하는 체계를 제공한다.

3. 환경 진동의 지시치 (indicators)

앞서 소개한 환경소음의 경우와 같이 환경 진동의 접근은 인체피폭량의 정확한 측정과 피폭진동의 인체영향 평가로 구성된다. 측정관련 국제표준규격(ISO)은 손으로 전달되는 수완계 진동(hand-transmitted vibration, HTV)과 발, 엉덩이 혹은 등 부위의 인체 접촉부로 전달되는 전신 진동(whole-body vibration, WBV)으로 구분하고 있으며, 이는 인체에 미치는 영향이 확연히 구분되기 때문이다. 우선 수완계 진동의 피폭량은 ISO 5349 Part 1과 Part 2에 규정된 측정 점과 주파수 가중함수(frequency weighting function)를 적용하여 병진 3축에 대하여 8시간의 실효치 값 A(8)로 정의한다. 그리고 전신피폭 진동량은 ISO 2631-1에 따라 발의 병진 3축, 엉덩이의 병진 3축과 회전 3축, 그리고 등 부위의 병진 3축으로 구성된 총 12 축에 대하여 각각의 주파수 가중함수를 각각의 측정 축에 적용하여 구한 축별 실효치 a_w (weighted acceleration in r.m.s.) 혹은 축별 진동 피폭치(VDV, vibration dose value)를 이용하여 12축 전체에 대한 진동량으로 환산된다. 금번 연구에서 고려하고 있는 환경진동 지시치(indicator)는 표 2와 같다.

표 2. Environmental vibration indicators (objective quantity)

지시치	명칭과 용도	지시치	명칭과 용도
a_w	측정 축별 주파수 가중화된 실효치 가속도 레벨	a_v	전체 측정 축에 대한 가중화된 실효치 가속도 레벨
VDV	피폭 진동량	eVDV	등가 피폭 진동량
A(8)	8시간 동안의 3축 가중화된 손 진동	VPT	손가락의 진동인지 역치

금번연구에서 실효치 진동피폭량으로부터 누적피폭량 환산을 위하여 등가 피폭 진동량(eVDV)를 사용하고 있으며, 손가락 진동인지 역치(VPT, vibration perception threshold)는 진동피폭 집단에 대하여 일정 레벨의 VPT에 대한 상대적 비율 즉 일정 %(백분율)을 측정하기 위한 목적으로 사용하고 있다.

표 2에 표시된 지시치 들은 측정된 진동신호로부터 국제표준규격의 절차에 따라 객관적으로 환산할 수 있는 양이다. 본 연구에서는 이러한 객관적 지시치와 함께 환경진동의 주관적 평가 방안을 현재 연구 중에 있다. 환경 진동의 대표적 인체영향으로는 진동 안락도 (comfort), 수면 방해, 활동성 침해 (독서, 글쓰기, 음식물 섭취 등)가 있으며, 소음의 인체 영향과 중복되는 영향 인자들도 있다. 특히, 환경진동의 주관적 평가(subjective assessment)에 대한 연구 매우 미흡한 실정이며, 아직 체계화된 설문지가 없는 실정이다. 본 연구팀은 환경소음 영향평가의 설문서의 개념을 이용하여 환경진동의 안락도 침해, 수면 방해, 활동성 침해 (독서, 글쓰기, 음식물 섭취 등)를 평가하기위한 설문서 연구를 진행 중이다.

4. 환경 소음·진동의 위해성 지시치 (indicators)

1994년 세계보건기구(WHO)의 IPCS(International Programme on Chemical Safety)는 환경 소음과 진동의 피폭에 의한 인체 위해성(adverse effects on human)은 생체의 형태학적 혹은

은 생리학적인 변화로 정의하였으며, 이러한 변화가 (1) 생체의 고유 기능 상실, (2) 부가적 스트레스에 대한 보상기능 상실, (3) 다른 환경영향 인자들에 대한 민감도의 증가를 유발하는 경우 인체 위해성 요소로 분류된다[1]. 따라서, 인체 위해성은 인간이나 인간의 조직체들의 물리적, 심리적, 사회적 기능들의 장/단기적 저하를 포함한다. 본 절에서는 의사의 진단절차를 필요로 하는 환경소음 진동 지시치 들을 소개한다. 우선, 국외 직업병으로 구분되는 지시치로 NIPTS (소음성 난청 판정치), VPT (수완계 진동 역치 변화양), 디스크 (전신 진동에 의한 영향) 등이 있다[4]. 그리고, 소음과 진동에 의하여 유발될 수 있는 질병으로 심장혈관계 질병 (ischaemic heart disease), 환경 호르몬(epinephrine, norepinephrine, cortisol) 과다 분비[1], 고혈압(Hypertension) 등이 있다. 표 3은 소음의 생물학적 영향에 대한 국제위원회(ICBEN)에서 보고한 보건에 대한 영향을 나타내고 있다.

표 3. 환경 소음진동에 의한 생리학적 영향 (ICBEN - Team 3 Report)

Type of Effect	HCN	WHO (1995)	IEH (1997)	ICBEN Team 3
Ischaemic heart disease	++	+/-	+(+)	+(+)
Blood pressure: Adults	++	+/-	+/-	+/-
Blood pressure: Children	+/-	+/-	+/-	+(+)
Stress hormone response: Adults	+/-	-	+/-	+/-
Stress hormone response: Children	n.a.	-	+/-	+/-
Psychological health	+/-	+/-	+/-	+/-
Birth weight	+/-	+/-	+/-	+/-
Immune system response	+/-	-	-	-

Notes: “+”+: Sufficient evidence, “+/-“: Inconclusive evidence, “-“: Insufficient evidence, “n.a.”: Not assessed

4. 결 론

우리의 환경 소음·진동관련 표준안과 소음진동규제 법규는 아직 단순 물리량적 소음·진동 측정에 의한 환경 평가 수준을 벗어나지 못하고 있다. 이에 반해, 우리의 환경 문제들은 이미 선진국형으로 체질화가 된 상태이다. 이러한 국내 환경 문제의 효율적 접근을 위한 선진국형 환경 소음 진동의 영향 평가기술 개발과 토착화 노력이 매우 시급한 실정이다. 본 논문에서는 기존의 환경평가의 한계점을 극복한 최근 선진국형 환경관리 방법 및 체계, 즉 환경으로부터 실제 사람에게 전달되는 인체 피폭량의 정확한 측정과 인체 영향에 대한 평가, 그리고 인체 피폭량 저하를 위한 관리/감독 기술분야를 새로이 소개하고 있다. 특히, EC의 최근 연구내용, 즉 피폭 대상인 인간에게 전달되는 양의 정밀한 측정 뿐 아니라 인간에게 미치는 영향(불쾌감과 수면방해)과 보건 및 안전에 대한 손실 (위해성)의 주관적/객관적 평가 방법들의 개발은 선진 환경연구의 단면을 보여주는 예이다.

본 연구는 환경부 지원 차세대 환경 연구과제(소음진동의 인체 피폭량 및 위해성 평가)와 과기부 지원 감성공학 연구과제(소음진동의 인체영향 연구)의 연구결과의 일부분이다.

참고문헌

- [1]B. Berglund, T. Lindvall and D.H. Schwela (Ed.), *Guidelines for Community Noise*, WHO Report 4, 1999.
- [2]Working Group, “Podition Paper on EU Noise Indicators,” 1999.8
- [3]Draft Directive on Noise Policy: The Assessment and Management of Environmental Noise, PE-CONS 3611/02, April, 2002.
- [4]M.J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, 1991.