Title

Low Frequency Noise and It's Psychological Effects

ABSTRACT

Objective: The purposes of the study were to develop a psychological assessment scale with multiple items for low frequency noise (LFN) evaluation and to investigate the effect of LFN on the psychological responses in human.

Method: 182 college students participated in the study I to develop a psychological assessment scale. In the study II, 42 paid volunteers participated. The stimuli consisted of 12 different pure tones and 12 different 1 octave band white noises with 4 different frequencies and 3 different sounds pressure levels.

Results: The psychological assessment scale consisted of 17 items with 3 dimensions, "perceived psychoacoustic characteristics", "perceived physiological characteristics" and "negative emotion". The effect of LFN on those multiple psychological responses revealed as follows: The lower the frequency and the higher the sound pressure level (SPL) is the bigger in psychological reaction to 'sound deep' and 'sound thick'. For the item 'feel vibration' responses were shown the highest at 31.5Hz, second highest at 250Hz, lower at 63Hz, and the lowest 125Hz., the scores of the responses on the "perceived physiological characteristics" and "negative emotion" items were lower as both SPL and frequency decreased, while those of 31.5Hz was higher than 125Hz. The response on the "annoying" is affected the feeling of vibration.

Conclusion: There are different effects of low frequency noise with different frequencies and intensity (SPL) on multiple psychological responses.

Application: The results of this study can be applied to assess the effect of real-life low frequency noise in the work places or living environments.

Keywords

Low Frequency Noise, LFN, Vibration, Psychological Effects, Psychological Assessment Scale

1. Introduction

저주파 소음(low frequency noise)은 보통 20Hz에서 200Hz의 주파수 범위를 가지는 소음으로 정의한다(Bengtsson, Persson, & Kjellberg, 2003). 저주파소음의 주되 발생원은 송풍기, 왕복식 압축기, 디젤기관, 진공펌프, 환기통, 히터, 에어컨, 컴퓨터 네트워크 장치 등이 있다(Berglund, Hassmen, & Job, 1996; Jung, 2011). 이러한 저주파 소음의 원천들은 소리와 함께 진동을 유발하기 때문에 일반적인 벽으로 차단하기 어렵다는 특징을 가진다(Hood & Leventhall, 1971; Leventhall, 1988).

저주파 소음은 사람에게 여러 가지 측면에서 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Berglund와 Hassmen(1996)은 문헌고찰을 통하여 저주파 소음이 사람에게 미치는 영향을 1) 소리에 대한 역치 2) 균형과 전정체계 3) 호흡 4) 심혈관계통 5) 호르몬 6) 인지 7) 의사소통 9) 정신건강 10) 성가심(annoyance) 11) 수면 등으로 나누어 설명하고 있다. Berglund와 Hassmen(1996)의 연구를 종합하면, 저주파 소음이 사람에게 미치는 영향을 생리적인 부분과 심리적인 부분 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

생리적인 부분은 소리에 대한 역치, 균형과 전정체계, 호흡, 심혈관계통, 호르몬, 수면 등에 영향을 미치는 부분이 포함될 수 있다. 저주파 소음에 오랫동안 노출될 경우에는 소리에 대한 역치를 영구적으로 변경시킬 수 있다(von Gierke & Nixon, 1976). 강한 강도의 저주파 소음에 노출될 경우에는 균형감각이나 전정체계가 영향을 받을 수 있으며(Parker, 1976), 두통이나 현기증, 구토 등의 생리적 증상이 나타날 수 있다(Pedersen, Møller, & Persson, 2006). 저주파 소음은 또한 혈압을 변경시키고 심박율을 변환시키는 것으로 알려져 있지만, 임상적으로 유의한 영향을 미치는지에 대해서는 아직까지 불분명하다(Berglund, Hassmen, & Job, 1996). 저주파 소음에 노출되면 카테콜라민(catacholamines)과 코티졸(cortisol) 분비가 증가하는 것으로 나타났는데(Cavatorta et al., 1987), 이는 스트레스에 대한 전형적인 반응이다. 수면 시 저주파 소음과 교통소음에 노출시켰을 때, 숙면을 취하기 어렵고 수면에서 깰 때 피로감을 느끼는 등의 부정적 영향이 나타난다(Waye, Clow, Edwards, Hucklebridge, & Rylander, 2003).

생리적인 영향들을 요약하면, 강한 강도의 저주파 소음에 오랫동안 노출될 경우, 역치와 균형감각, 전정체계에 이상이 발생할 수 있으며, 스트레스에 대한 반응으로 심혈관계의 변화나 호르몬 분비가 증가한다고 할 수 있다.

심리적인 부분은 인지, 의사소통, 정신건강, 성가심을 포함한다. Møller(1984)의 연구에서는 3시간 동안 저주파 소음에 노출시키면서 다양한 종류의 과제를 수행하고, 소음을 경험하는 동안 발생한 심리반응을 평가하도록 하였다. 그 결과, 실험 참가자들은 심리적으로 저주파 소음을 성가시다고 평가하였으며, 귀에 압력을 느낀다고 하였다. Bengtsson과 Persson, Kjellberg(2003)은 고난도 과제를 수행할 때 저주파 소음의 영향을 평가하였는데, 과제를 수행하는데 있어서 저주파 소음은 참조 소음에 비해 더 방해되었으며, 저주파 소음을 더 성가시게 느낀다고 보고하였다.

성가심(annoyance)과 불쾌감(unpleasantness)에 대한 설문연구들이 있다. Møller와 Lydolf(2003)은 저주파 소음의 피해자를 대상으로 한 설문조사에서 저주파 소음을 디젤엔진 소리와 같다고 보고했으며, 저주파 소음이 두통, 불면증, 집중력 부족과 같은 부정적 영향을 끼친다고 보고하였다. 많은 이들이 외부 물체의 진동이나 신체의 진동을 통해 소음의 진동감을 보고하였다. 또한, 저주파 소음은 일상생활을 방해하거나 짜증을 불러일으켜 이들을 괴롭힌다고 하였으며, 불면증, 두통, 심계항진과 같은 이차적인 고통을 호소하였다. Møller(1987) 은 4Hz에서 31.5Hz까지의 frequency 범위에서 1옥타브 밴드의 pure tone으로 음압수준(SPL)을 높임에 따라 나타나는 성가심에 대한 반응을 측정하였다. 저주파 소음에 대한 성가심의 정도는 음압수준이 증가함에 따라서 급격히 증가하는 것으로 나타났다. Inukai와 Taya, Miyano, Kuriyama(1986)는 3Hz에서 40Hz의 pure tone을 들려주며 저주파 소음에 대한 심리적 반응을 측정하였다. 심리적 반응은 소리 지각, 귀에서의 압력, 진동감으로 구성되는 것으로 나타났다.

심리적인 영향과 생리적인 영향은 서로 밀접한 관계가 있다. 대부분의 생리적인 영향들은 스트레스 반응과 관련이 있는 것들이며, 스트레스 원천인 저주파 소음은 일차적으로 성가심으로 대표되는 심리적 반응을 유발하기 때문이다. 따라서, 저주파 소음이 인체에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 생리적인 반응과 심리적인 반응을 동시에 측정하여 결과를 해석할 필요가 있다. 앞서 언급한 바와 같이 생

리적 반응은 호르몬의 분비량을 측정하거나, 혈압이나 맥박 등의 생체신호를 측정함으로써 관찰할 수 있다. 심리적 반응은 대부분 다수의 문항으로 구성된 심리평가척도를 이용해서 측정할 수 있다. 그러나, 선행연구들에서 사용한 심리평가척도들은 연구자들의 주관에 의해서 선택된 소수의 문항으로 구성된 것들이 대부분이며, 체계적인 방법으로 구성한 심리평가척도는 거의 없다.

본 연구에서는 31.5Hz ~ 125Hz의 저주파 소음과 250Hz의 소음이 심리적 반응에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 연구Ⅰ에서는 객관적인 심리평가척도를 개발하였고, 연구Ⅱ에서는 연구Ⅰ에서 개발된 심리평가척도를 이용하여 저주파 소음에 대한 심리 반응을 평가하였다.

2. Study I: Development of A Multi-dimensional Psychological Scale

심리평가척도는 다음의 절차를 통하여 개발되었다. 첫째로, 저주파 소음을 잘 기술할 것으로 생각되는 단어를 수집하였다. 둘째로, 저주파 소음에 노출된 후의 심리적 반응을 각 단어들이 얼마나 적절하게 기술하는지를 연구참가자에게 평가하게 하였다. 마지막으로, 연구참가자들의 반응에 기초하여 저주파 소음을 가장 잘 기술하는 단어들을 선택하여 심리평가척도를 개발하였다.

2.1 Participants

남녀 대학생 181 명(남자 78 명, 여자 104 명)이 에 자원하여 참여하였으며, 평균연령은 20.4 세(범위 18-29 세)였다.

2.2 Questionnaire

한국어 형용사 사전(Park & Kim, 1991)과 저주파소음 관련 선행연구(Chen & Hanmin, 2004; Leventhall, 2004; Møller, 1984; Waye et al, 2003; Benton & Leventhall, 1986; Poulsen & Mortensen, 2002; Belojevic et al, 2003)를 통하여, 저주파 소음에 대한 심리적 반응을 잘 기술할 것으로 생각되는 100 개의 어휘를 수집하여, 질문지를 구성하였다. 질문지의 각 문항은 9 점 척도 상에 반응하도록 하였다. 1 점은 '전혀 적절하지 않다', 9 점은 '매우 적절하다' 였다. 문항을 제시하는 순서의 효과를 제거하기 위하여, 문항 순서가 서로 다른 4 종류의 질문지를 제작하여 사용하였다.

2.2 Testing room and noise stimuli

평가는 7.2m x 18m x 2.7m 크기의 시청각실에서 실시하였다. 저주파 소음 자극은 31.5Hz 와 63Hz, 125Hz, 250Hz 의 pure tone 과 동일한 frequency 를 중심 frequency 로 가지는 1 octave band white noise 를 사용하였으며, 90dB 의 음압(sound pressure level: SPL)으로 제시하였다. 자극은 Adobe Audition 1.0 을 이용하여 생성하였다.

2.3 Procedure

한번에 약 30 명의 참가자들이 평가에 참가하였다. 8 개의 저주파 소음을 스피커(Marshall Electronics, INC-S3800S)를 통하여 30 초씩 제시하였으며, 각 소음 사이에 10 초의 휴식시간이 있었다. 참가자들은 8 개의 저주파 소음을 모두 들은 후, 100 개의 형용사로 구성된 질문지에 응답하였다. 실험 참가자들은 각 문항(형용사)이 저주파 소음을 기술하는데 얼마나 적절한지를 9 점 척도 상에 평가하였다.

2.4 Results

100개 문항에 대한 연구참가자들의 평가를 이용하여 각 문항의 평균을 산출하였다. 100개의 문항 중에서 평균 점수가 6점 이상인 33개의 문항들을 1차로 선택하였다. 연구참가자들이 어휘의 적절성 평가에 사용한 심리적 구조를 파악하고, 최종적인 심리평가도구에 사용할 문항을 선택하기 위하여 요인분석(factor analysis)을 실시하였다. 요인분석방법은 주축요인분해방법(principal axis factoring)을 사용하였으며, 스크리 도표(scree plot)를 살펴본 결과 3개의 주요한 요인이 있는 것으로 나타났다. 요인구조의 회전은 사각회전의 한 종류인 Oblimin방법을 이용하였다. 요인분석결과, 첫 번째 요인에는 9개의 문항이 포함되었으며 '지각된 물리적 특성'을 반영하는 문항들이었다. 두 번째 요인은 9개의 문항이 포함되었으며 '지각된 생리적 특성'을 반영하였다. 세 번째 요인은 15개의 문항이 포함되었으며 '부정적 감성'을 반영하였다. 심리평가척도의 전체 문항 수를 실험에 사용하기 적합한 개수로 줄이기 위하여, 5명의 연구자들이 토의를 거쳐 각 요인에서 비슷한 의미의 문항들을 통합하였다. 최종적으로 Table 1과 같이 17문항으로 구성된 심리평가척도를 완성하였다.

Table 1. 17 items in the psychological assessment scale

perceived psychoacoustic characteristics	perceived physiological characteristics	negative emotion
sound deep, sound thick, sound loud, feel vibration	ear hurting, headaching, nauseating, dizzy	annoying, unpleasant, stressful, irritable, noisy, choking anxious, interfering, weird

3. Study II: Effect of LFN on Psychological Responses

저주파 소음에 대한 심리적 반응을 평가하기 위하여 실험실 실험을 실시하였다.

2.1 Participants

남녀 대학생 42 명(남자 27 명, 여자 15 명)이 실험에 자원하여 참여하였으며, 평균연령은 22.4 세(범위 19-26 세)였다.

2.2 Experimental room and noise stimuli

실험은 3m x 5m x 2.65m 크기의 방음실에서 실시하였다. 실험 자극은 31.5Hz 와 63Hz, 125Hz, 250Hz 의 주파수를 가지고, 50 과 70, 90phon 의 SPL 로 구성된 12 종류의 pure tone 과 12 종류의 1 octave band white noise 를 사용하였다(Table 2). 소음자극은 Adobe Audition 1.0 을 이용하여 생성하였다.

Table 2. Noise stimuli used in this experiment

	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz
50 phon	94dB	91dB	90dB	90dB
70 phon	85dB	80dB	77dB	73dB
90 phon	80dB	73dB	64dB	57dB

2.3 Psychological assessment scale

연구 I에서 만든 17문항으로 구성된 심리평가척도를 사용하였다. 7점 척도상에 평가하도록 하였으며, 1점은 '매우 아니다', 7점은 '매우 그렇다'를 의미한다.

2.4 Procedure

한번에 3 명씩 실험에 참가하였다. 실험 참가자들은 각 저주파 소음을 30 초 동안 듣고, 그에 대한 느낌을 17 문항으로 구성된 심리평가척도 상에 표시하였다. 저주파 소음 간에는 1 분 30 초의 휴식시간을 두었다. 12 개의 저주파 소음을 제시하는 순서는 참가자별로 무선화하였다.

2.5 Results

2.5.1 Pure tone

저주파 소음의 frequency 와 SPL 에 따른 심리적 반응이 Figure 1, 2, 3 에 제시되어 있다. 심리적 반응이 Frequency 와 SPL 에 따라서 통계적으로 유의하게 달라지는지 검증하기 위하여, 이원 반복측정 변량분석(two-way repeated measures ANOVA)을 실시하였으며, frequency 와 SPL 이 증가할수록 심리적 반응이 어떠한 양상으로 변화하는지 검증하기 위하여 경향분석(trend analysis)을 실시하였다.

지각된 물리적 특성 문항들 중 '소리가 굵다'와 '소리가 탁하다'의 심리적 반응은 frequency 와 선형적(linear) 관계가 있었으며(각각 F=85.774, p<.001; F=72.728, p<.001), SPL 과도 선형적 관계가 있었다(각각 F=60.554, p<.001; F=54.987, p<.001). 즉, frequency 가 낮을수록, 그리고 SPL 이 높을수록 소리가 굵으며, 탁하다고 응답하였다. '몸이 떨리다' 에 대한 반응은 frequency 와 선형적(linear) 관계 및 포물선(quadratic) 관계가 모두 있는 것으로 나타났으며(linear F=31.258, p<.001, quadratic F=65.904, p<.001), SPL 과도 선형적 관계와 포물선 관계가 모두 있는 것으로 나타났다(linear F=80.231, p<.001; quadratic F=9.317, p<.001). 즉, 31.5Hz 에서 '몸이 떨리다' 는 심리적 반응이 가장 컸고, 63Hz, 125Hz 에서는 작았으며, 250Hz 에서 다시 높아지는 관계를 보였다. 50Phon 의 자극과 70Phon 의 자극은 '몸이 떨리다' 는 반응에서 차이가 적은 반면, 70Phon 의 자극과 90Phon 의 자극은 '몸이 떨리다' 는 반응에서 차이가 크게 났다. '소리가 크다'는 심리적 반응은 frequency 와 포물선관계를 가지고(F=129.426, p<.001), SPL 과 선형관계를 가지는 것으로 나타났다(F=337.828, p<.001). 즉, 250Hz 와 31.5Hz 에서 소리를 크게 지각하였고, 63Hz 와 125Hz 에서 소리를 상대적으로 작게 지각하였다(Figure 1).

지각된 생리적 특성 문항인 '귀가 아프다' 와 '머리 아프다', '메스껍다', '어지럽다' 의 심리반응은 frequency와 포물선 관계를 가지고(모두 p<.001), SPL과는 선형관계를 가지는 것으로 나타났다(모두 p<.001). 즉, 250Hz와 31.5Hz에서 큰 값을 보였고, 63Hz와 125Hz에서 작은 값을 보였다(figure 2).

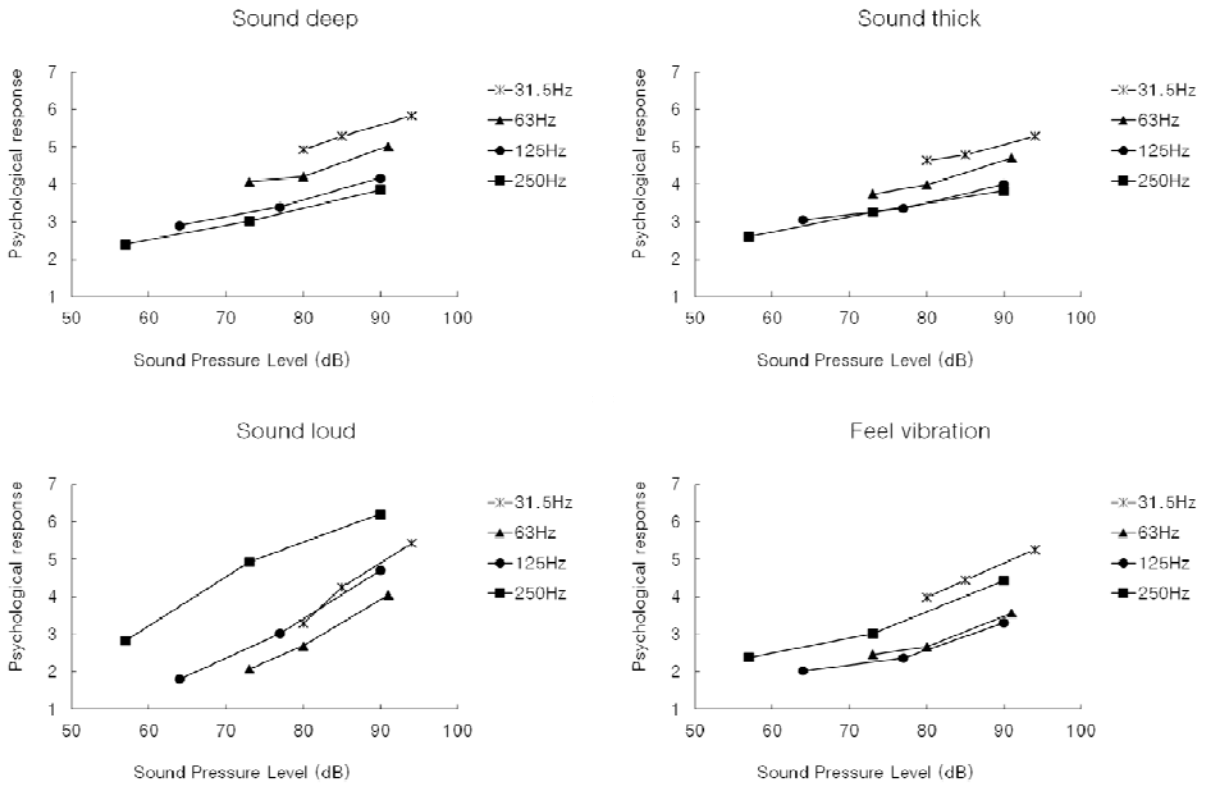

Figure 1. Example of responses on perceived psychoacoustic characteristic factor (pure tone)

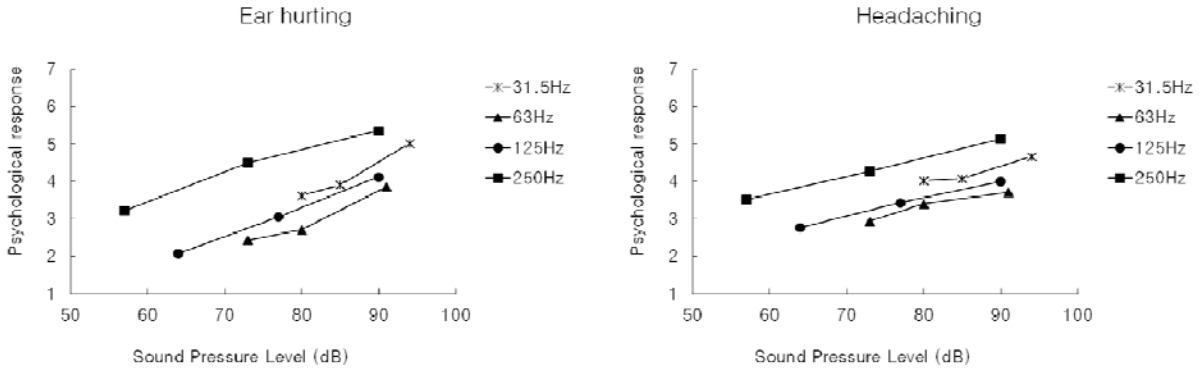

Figure 2. Example of **r**esponses on perceived physiological response factor (pure tone)

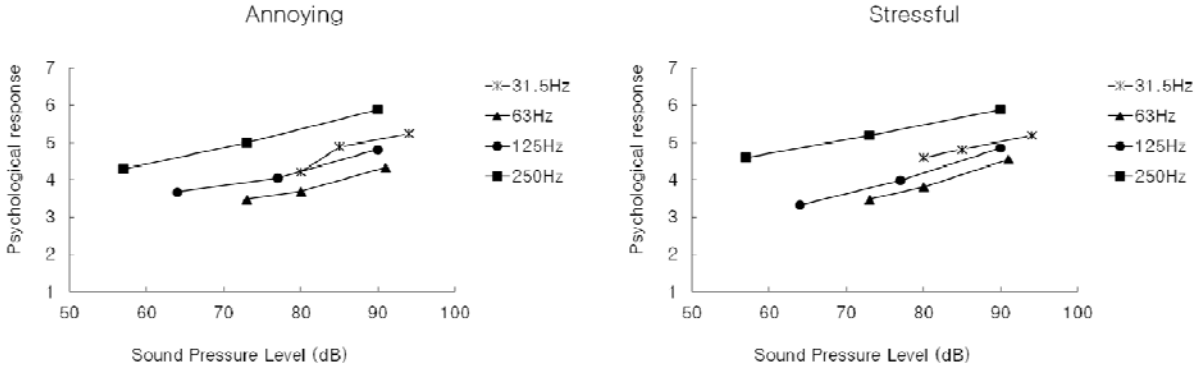

Figure 3. Example of responses on the negative emotion factor (pure tone)

부정적 감성 특성 문항들에 대한 심리반응은 frquency 와 포물선 관계를 가지는 것으로 나타났으며(모두 p<.001), SPL 과는 선형관계를 가지는 것으로 나타났다(모두 p<.001). '성가시다'와 '스트레스 받다'는 문항에 대한 반응을 보면, 63Hz 에서 가장 낮은 값을 보였으며 125Hz, 31.5Hz, 250Hz 의 순으로 높은 값을 보이고 있다(Figure 3).

2.5.1 One octave band white noise

One octave band white noise 자극과 pure tone 자극의 심리적 반응이 유사한지 판단하기 위하여, pure tone 자극에 대한 심리적 반응과 1 octave band white noise 자극에 대한 심리적 반응 간에 Pearson 상관계수를 산출하였다. 그리고, pure tone 자극에 대한 심리적 반응의 평균값과 1 octave band white noise 자극에 대한 심리적 반응의 평균값 간의 차이를 반복측정변량분석을 이용하여 검증하였다. 상관분석 결과, 17 개 심리적 반응에 대한 상관계수는 .755(스트레스 받다)~.978(소리가 탁하다)로 매우 높은 상관을 보이고 있어서, 1 octave band white noise 자극과 pure tone 자극의 심리적 반응 패턴은 비슷한 것으로 간주할 수 있다. 두 자극에 대한 심리적 반응의 평균차이 검증 결과, '몸이

떨리다'는 반응은 pure tone 자극에서 평균이 약간 높았으며($p<.01$), '이상하다'와 '불안하다'의 반응은 1 octave band white noise 에서 평균이 약간 더 높았다(각각 $p<.01$, $p<.05$). 나머지 14 개 심리적 반응은 두 자극간 평균차이가 없었다($p>.05$)

2.5.2 Regression analysis on annoyance

저주파 소음의 frequency 와 심리적 반응은 포물선 관계를 보이는 경우가 많았다. 이것은 31.5Hz 에서의 심리반응이 독특한 양상을 보였기 때문으로, '몸이 떨리다(진동감)'에 대한 심리반응이 31.5Hz 에서 가장 크게 나타난 것과 관련 있는 것으로 보인다. Inukai 등(1986)는 진동감이 'unpleasantness'와 'annoyance'의 원인이라고 하였고 Ochiai(1999)는 30-50Hz 에서 진동감에 대한 감각이 가장 민감하다고 하였다. 따라서 '진동감' 이 'annoyance'를 포함한 부정적 감성에 직접적인 영향을 주었을 가능성이 있음을 암시한다. 이 가능성을 검증하기 위하여, 위계적 중다회귀분석(hierarchical regression analysis)을 실시하였다. 모델 1 에서는 frequency 와 SPL 이 'annoyance' 에 미치는 영향을 검증하였으며, 모델 2 에서는 진동감을 추가하여 frequency 와 SPL, 진동감이 'annoyance' 에 미치는 영향을 검증하였다.

중다회귀분석 결과, 모델 1의 R^2 (결정계수)은 .742이었고, 모델 2의 R^2 는 .971였다. 진동감이 'annoyance' 에 미치는 영향력은 두 모델의 R^2 차이 값인 .230으로 통계적으로 유의하였다($p<.001$). 즉, 저주파 소음의 frequency 와 SPL이 'annoyance' 에 영향을 미치는 것과 더불어 저주파 소음 자극이 유발하는 진동감의 지각이 'annoyance'에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 진동감의 영향은 '지각된 소음의 크기', '스트레스 받다' 등에도 유사한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 3. Hierarchical regression analysis on annoyance

		B	Std. Error	T	P	R^2
Model 1	Constant	-0.541	1.028	-0.526	0.611	0.742
	frequency	0.006	0.002	3.873	0.004	
	SPL	0.054	0.012	4.612	0.001	
Model 2	Constant	0.749	0.397	1.889	0.096	0.971
	frequency	0.006	0.001	10.484	0.000	
	SPL	0.016	0.006	2.501	0.037	
	Vibration	0.537	0.067	8.020	0.000	

4. Conclusion

본 연구에서는 저주파 소음에 대한 심리평가척도를 제작하였으며, 이 척도를 이용하여 저주파 소음에 대한 심리적 반응을 평가하였다. 본 연구에서 제작한 심리평가척도는 17 개의 문항을 포함하고 있으며, 저주파 소음에 대한 지각된 물리적 특성, 지각된 생리적 특성, 부정적 감성의 세 차원으로

구성되어 있다. 선행연구들(Leventhall, 2004; Møller & Lydolf, 2003)에서 사용한 심리평가척도에 비하여, 본 연구에서는 체계적인 방법으로 심리평가척도를 구성하였다는 특징을 가진다.

Inukai 등(1986)이 3-40Hz 의 저주파 소음에 대한 심리적 반응을 평가한 결과는 소리 지각, 귀에서의 압력, 진동감의 세가지 차원으로 정리되었는데, 본 연구에서는 제작한 심리평가척도는 지각된 생리적 특성과 부정적 감성에 관한 내용을 좀 더 많이 포함하고 있었다. 이러한 차이는 Inukai 등(1986)은 3-40Hz 의 소음을 사용한 반면, 본 연구에서는 31.5~250Hz 의 소음을 사용하였기 때문인 것으로 생각된다.

세 가지 차원의 심리반응은 저주파 소음 자극의 frequency 와 SPL 에 따라 달랐다. SPL 과 심리적 반응은 선형적 관계를 보였는데, SPL 이 높아질 수록 부정적인 심리적 반응이 높아졌다. Frequency 와 심리적 반응은 포물선 관계를 보이는 경우가 대부분이었다. Frequency 와 심리적 반응 간의 포물선 관계는 31.5Hz 에서의 부정적 반응이 63Hz 나 125Hz 보다 높아서 나타난 것이다. 이러한 관계가 나타난 이유는 31.5Hz 자극이 주는 진동감 때문인 것으로 파악되었다. 31.5Hz 에서의 진동감이 다른 frequency 의 진동감 보다 높았는데, 이러한 진동감이 31.5Hz 소음에 대한 부정적 심리반응을 증가시킨 것으로 여겨진다. 결과적으로, 저주파 소음에 대한 부정적 심리 반응을 자극의 frequency 나 SPL 와 더불어 자극 고유의 진동감이 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

본 연구에서 제작한 심리평가척도를 이용하여, 가정이나 산업장면에서 발생하는 저주파 소음에 대한 심리적 반응을 정량적으로 측정할 수 있을 것이다. 또한 저주파 소음의 물리적 특성과 심리적 반응 간의 관련성은 심리적 반응의 측면에서 최적의 소음차폐설계를 하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

Acknowledgements

References

Belojevic, G., Jakovljevic, B., Slepcevic, V., Noise and mental performance: personality attributes and noise sensitivity. *Noise and Health*, *6*, 67-89, 2003.

Bengtsson, J., Persson, W. K. & Kjellberg, A., Evaluations of effects due to low frequency noise in a low demanding work situation, *Journal of Sound and Vibration*, *278*, 83-99, 2003.

Benton, S., Leventhall, H. G., Experiments into the Impact of low level, low frequency noise upon human behavior, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *5*, 143-162, 1986.

Berglund, B. & Hassmen, P., Sources and effects of low-frequency noise, *J. Acoust. Soc. Am., 99*, 2985-3002, 1996.

Cavatorta, A., Falzoi, M., Romanelli, A., Cigala, F., Ricco, M., Bruschi, G., Franchini, I., and Borghetti, A., Adrenal response in the pathogenesis of arterial hypertension in workers exposed to high noise levels, *J. Hypertension*, *5*, 463–466, 1987.

Chen, Y. H. Q., Hanmin, S., An investigation on the physiological and psychological effects of infrasound on persons. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *23*, 71-76, 2004.

Gierke, H. E. von, and Nixon, C. W., Effects of intense infrasound on man, in *Infrasound and Low Frequency Vibration*, edited by W. Tempest (Academic, London), pp. 115–150, 1976.

Hood, R. A. & Leventhall, H. G., Field measurement of infrasonic noise, *Acustic a*, *25*, 10-13, 1971.

Inukai, Y., Taya, H., Miyano, H., Kuriyama, H., A multidimensional evaluation method for the psychological effects of pure tones at low and infrasonic frequencies, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *5*, 104-112, 1986.

Jung, S. S., Low frequency noise, Journal of Standards and Standardization, 1, 43-51, 2011.

Leventhall, H. G., Low frequency noise in buildings. Internal and external sources, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *7*, 74-85, 1988.

Leventhall, H. G., Low frequency noise and annoyance, *Noise & Health*. *6*, 59-72, 2004.

Møller, H., Physiological and psychological effects of infrasound on humans. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *3*, 1-17, 1984.

Møller, H., Annoyance of audible infrasound, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, *6*, 1-17, 1987.

Møller, H. & Lydolf M., A questionnaire survey of complaints of infrasound and low-frequency noise, *Noise Notes*. *2*, 3-12, 2003.

Ochiai, H., Measurement of infra and low frequency noise, *The Journal of the Institute of Noise Control Engineering of Japan*, *23*, 306-310, 1999.

Pedersen, C. S., Møller, H. & Persson, W. K., Low-frequency noise complaints: a detailed investigation of twenty-two cases, *Proceedings of Inter-Noise*, 241-250, 2006.

Parker, D. E., Effects of sound on the vestibular system,'' in *Infrasound and Low Frequency Vibration*, edited by W. Tempest(Academic, London), pp. 151–185, 1976.

Poulsen, T., Mortensen, F. R., Laboratory evaluation of annoyance of low frequency noise, *Working Report No. 1*, 2002.

Waye, K. P., Clow, A., Edwards, S., Hucklebridge, F., & Rylander, R., Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sloop quality, *Life Sciences*, *72*, 863-875, 2003.