

청감실험을 통한 철도소음의 자율신경 및 심혈관계통 영향도 연구

The Research of Railway Noise through Auditory Experiments Focused on the Autonomic Nervous System and Cardiovascular System

이재관* · 윤은선** · 장채미* · 제세영** · 장서일†

Jae Kwan Lee, Eun Sun Yoon, Chae Mi Jang, Sae Young Jae and Seo-II Chang

(Received June 28, 2016 ; Revised September 13, 2016 ; Accepted September 13, 2016)

Key Words : Cardiovascular System(심혈관계), Railway Noise(철도소음)

ABSTRACT

According to the conventional studies on the noise and cardiovascular effect, railway noise is better associated with hypertension and adverse cardiovascular events than road traffic noise. But the underlying mechanisms remain unclear. We investigated the hypothesis that exposure to acute railway noise would the unfavorable effect of cardiovascular and autonomic system in healthy young subjects. Using a randomized, sham-controlled cross-over design, ten subjects were assigned to receive either an exposure to high speed train noise (84 dB) for 30 minutes or a control condition (non noise), separated by two days. Blood pressure, heart rate, augmentation index and heart rate variability as indices of cardiovascular and autonomic system function were measured at baseline, during, and recovery from two trials. The results show that exposure to acute railway noise significantly increased diastolic blood pressure and augmentation index, which may cause of adverse cardiovascular effects.

1. 서 론

최근 소음 문제가 대두됨에 따라 소음의 평가에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 하지만 국내·외의 여러 연구들은 피실험자의 주관평가에 대한 연구만 활발히 이루어 졌을 뿐 신체의 반응에 대한 실험 연구는 부족한 실정이다. 장순심 등⁽¹⁾은 소음의 구성과 크기에 따라 자율신경이 변화하는 것을 확인하였다. 자율신경의 변화는 신체의 외부 자극에 대한 보호 작용으로서 소음 또한 신체의 보호 기전을 활성화 시키는 자극으로 볼 수 있다. 이에

착안하여 소음 자극에 따른 신체의 보호 기전이 심혈관계의 흥분도에 미치는 영향을 파악하는 연구를 실시하였다.

이 연구에서는 자율신경의 영향도 파악을 위해 심박수 변이도(heart rate variability, HRV)를 기본으로 하여 심혈관 지표인 말초혈압과 중심혈압, 심장박동수, 혈관과형증가지수(augmentation index, AIx)를 활용하였다. 이러한 지표들은 심혈관 건강과 밀접하게 관계가 있으며, 각 지표 값들의 상승은 건강의 악영향에 대한 신호로 볼 수 있다. 이 실험에서는 소음 자극에 따른 신체 지표들의 변화에 대한 연구를 수행하였다.

† Corresponding Author; Member, Dept. of Environment Engineering, University of Seoul
E-mail : schang@uos.ac.kr

* Dept. of Energy Environment System Engineering, University of Seoul

** Dept. of Sports Science, University of Seoul

A part of this paper was presented and selected as one of best papers at the KSNVE 2016 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

이 실험에서 사용한 소음으로는 환경소음의 가장 큰 문제로 대두되고 있는 교통소음을 대상으로 하였으며 여러 가지의 도로교통 소음 가운데 철도소음을 활용하였다. Sørensen et al.⁽²⁾는 과거 수행한 조사 결과 철도소음이 도로교통소음에 비하여 고혈압 발생 위험도가 약 8% 더 높다고 하였다. 그러나 철도소음 노출이 심혈관계에 부정적인 영향을 미치는 기전에 대해서는 현재 잘 알려져 있지 않다. 따라서 이 연구에서는 철도 소음이 심혈관계 및 자율신경계에 미치는 부정적 영향에 대한 연구를 진행하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자 일반사항

실험에 참가한 피실험자는 총 10명으로 서울소재의 대학에서 이 실험에 지원한 20~30대의 학생들을 대상으로 실험을 진행하였다. 평균나이 24.7세의 젊은 남녀를 대상으로 실험을 진행하였으며 피실험자들의 세부사항은 Table 1과 같다.

2.2 사용 음원

(1) 음원 녹음

사용된 음원은 경기도 화성시 인근 고속철도의 선로 주변에서 녹음하였으며 녹음당시 배경소음도는 65 dB(A)였다. 녹음에 사용한 기기는 Head Acoustics사의 Squadriga와 BHS I을 활용하였으며 녹음 위치는 선로에서 15 m 떨어진 지점이다. 사용된 모든 음원의 크기는 등가소음도를 활용하였다.

녹음하는 동안 총 2가지의 고속열차가 통과하였으며 구형 고속열차는 92.3 dB(A), 신형 고속열차는 87 dB(A)의 소음도를 가지는 것으로 측정되었다.

(2) 음원 추출

이번 실험에서는 녹음된 두 가지의 열차 중 신형 고속열차보다 도입시기가 오래 된 구형고속열차의 음원을 사용하였으며 음원의 길이는 총 20초이다.

원음의 실제 크기는 92.3 dB(A)이지만 피실험자의 청력 손실 및 실제 선로에서 주변 민가까지의 거리로 인한 소음 감쇠 등을 이유로 등가소음도의 일정량 감소가 필요하였다. Rabinowitz et al.⁽³⁾는 공사장 인부들의 청력감소에 대한 자극-반응 연구 결과 85 dB(A) 이하에서는 청력손실이 보이지 않는다고 하였다. 이에 따라 이 실험에서도 사용할 열차소리의 소음도를 84 dB(A)로 조절하였다.

2.3 실험 방법

(1) 실험 기본 사항

실험은 서울시립대학교 내부 청감실험실에서 한 명씩 진행하였으며 교차설계 방법(cross-over method)을 기본으로 하였다. 각각의 피실험자마다 두 번의 실험을 실시하는 방법으로 동일한 조건에서 소음 자극 실험 1회와 소음이 없는 실험 1회씩 각각 진행하였다. 따라서 실험 횟수는 피실험자별로 2회씩 총 20회이며 위와 같은 방법으로 실험을 진행할 시 대조군과 실험군이 같은 피실험자이기 때문에 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 또한 각 피실험자별로 대조실험과 자극실험의 순서는 무작위로 수행하였다. 실험 진행 전날 피실험자들에게 카페인, 알코올과 같이 심혈관계통에 영향을 주는 음식물의 섭취 제한과 운동제한 등을 미리 통보하였다. 두 실험은 2일 이상 간격을 두고 실시하였다.

또한 실험에 들어가기에 앞서 피실험자 개개인별로 간단한 사전 설문조사와 청력검사를 실시하였다. 사전 설문조사 문항에는 11점 척도가 사용되었다. 피험자들은 본인 거주지의 소음도를 낮음(3점) 정도의 수준으로 선택하였다. 또한 피실험자 본인의 소음민감도를 보통(5점) 정도로 선택하였다. 청력테스트 결과 1.6 kHz 이상의 고주파음을 못 듣는 피실험자는 전체의 60%로 나타났고 그 이하 주파수에서는 피실험자 전원 이상이 없으므로 나타났다.

Table 1 General characteristics of subjects

Subject	Age	Sex	Height (cm)	Weight (kg)	Body mass index
1	23	M	173	67	22.39
2	25	M	168	68	24.09
3	23	M	163	54	20.32
4	26	M	173	76	25.39
5	20	M	192	73	19.80
6	25	F	160	53	20.70
7	23	F	165	50	18.37
8	24	F	167	55	19.72
9	37	M	170	71	24.2
10	21	F	160	56	21.88
Ave.	24.7		169.1	62.3	21.69
SD.	4.69		9.31	9.62	2.31

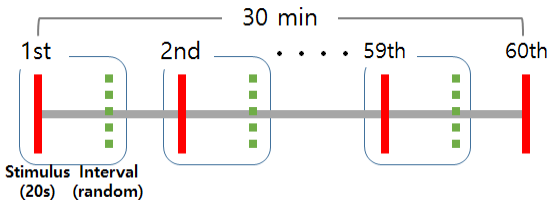


Fig. 1 Playing method of train noise



Fig. 2 Measurement method

1회 실험은 총 80분으로 구성되었다. 소음자극 전 피실험자의 안정을 위한 10분(base)의 안정구간, 소음 자극구간 30분(S1~S6), 신체회복구간 40분(R1~R8)으로 구성되었다. 각 구간을 5분 간격으로 세분하였으며 실험완료 후 각 측정 지표들은 세분된 구간의 대푯값으로 채택하였다.

소음자극 실험에서는 소음자극구간 동안에만 철도소음을 피실험자에게 노출시켰다. 자극 구간 30분 동안 재생되는 철도소음의 크기 변화는 없었으며 자극 구간동안 총 소음 노출 횟수는 60회이고 1회 재생 시 음원의 길이는 20초이다. 음원 녹음지역의 1일 고속열차 통과 횟수는 약 100회이고 그 중 구형 고속열차의 통과 횟수는 55회 이상이기 때문에 녹음지역의 소음 발생 상황과 비슷한 횟수인 60회로 노출 횟수를 선정하였다. 또한 한 가지 음원을 사용하여 열차의 주행 방향을 반전시켜 두 가지로 준비하였다. 이에 따라 좌우방향 음원 30회, 우좌방향 음원 30회로 구성하였다. 그리고 60회의 자극동안 각 자극 사이에는 무소음 구간을 삽입하였으며, 무소음 구간의 간격은 0초, 10초, 20초 3가지로 무작위 배치하였다.

(2) 신체 지표 측정방법

심박수변이도 측정은 BIOPAC System, Inc.의 MP36모델을 사용하였다. 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해서는 5분 이상 지속적으로 심전도를 측정해야 하며, 심전도 측정을 위해 쇄골 양 끝과 왼쪽 갈비뼈 아래에 측정전극을 부착하여 측정하였다. 안정 구간부터 5분 간격으로 지속적으로 심전도의 R-R간격을 측정하여 심박수변이도를 구하였으며, 총 15회 측정하였다.

혈압은 일반 의료용으로 사용하는 OMRON사의 HEM 7080IC 디지털혈압계를 사용하였으며, 심박수 변이도와 동일한 횟수로 5분 간격으로 1회씩 측정하였다. 혈관경직도의 지표인 혈관과형증가지수 측

정은 AtCor Medical사의 SphygmoCor 장비를 이용하였다. 혈관과형증가지수는 심장이 박출할 때 생기는 전향파와 말초에서 돌아오는 후향파를 합쳐 생기는 파형을 분석하여 혈관경직도 정도를 판단한다. 측정은 요골동맥에서 측정된 맥파를 이용하여 분석하였다. Fig. 2는 실제 실험에서 피실험자에게 부착한 신체 지표 측정 장치의 모습이다.

1회 측정 시 30여초가 걸리며 세부구간별로 5회 이상 측정하였다. 지속적으로 측정한 데이터는 구간 평균으로 차후 합산하였다. 합산된 데이터는 세부구간별 대푯값으로 사용하였다. 신체 지표이외에도 소음자극 실험의 경우 S1에서 S6 각 한 개씩 피실험자의 주관적 성가심 정도를 11점 척도로 평가하였다.

3. 실험 결과

이 실험에서 측정된 지표는 수축기/확장기 혈압(SBP/DBP), 중심혈압(ASBP, ADBP), 심장박동수(HR), 혈관경직도(AIx, AIx75), 심박수변이도(HRV), 주관소음 평가점수 총 9가지이다. 대조실험과 소음자극실험의 비교는 통계소프트웨어인 SPSS를 활용하였으며 2way-ANOVA를 통계기법으로 활용하였다. 통계적 유의수준은 5% 이하로 설정하였다.

(1) 심혈관 지표

심혈관계 흥분도 지표로는 혈압과 심박수, 동맥경직도이며, 각 지표별로 대조실험 및 소음실험 결과를 비교분석하였다. 혈압의 경우 두 명의 R8의 데이터를 소실하여 base, S1에서 S6, R1에서 R7까지 분석하였다. 세 가지 구간(안정, 자극, 회복) 별 각 지표의 평균값과 표준편차, 유의확률은 Table 2와 같다. 3구간

Table 2 Summary of experimental results

Index	Control			Noise			p - value
	Base (Ave)	S (Ave)	R (Ave)	Base (Ave)	S (Ave)	R (Ave)	
SBP (mmHg)	110.15	105.95	106.53	110.70	111.88	110.22	0.059
DBP (mmHg)	70.25	67.38	69.19	69.80	71.50	71.62	0.045
ASBP (mmHg)	97.32	92.48	93.04	99.53	98.32	96.60	0.005
ADBP (mmHg)	72.96	68.63	69.68	73.37	72.82	72.59	0.052
HR (bpm)	68.05	67.92	67.69	69.00	71.48	70.35	0.112
Aix (%)	7.57	6.58	6.07	8.35	7.48	8.30	0.416
Aix75 (%)	4.48	3.56	2.82	5.96	5.24	5.65	0.192

Table 3 Results of autonomic nervous system

	Base (Ave)	Stimulus (Ave)	Recovery (Ave)	p - value
Sympathetic (noise)	0.69	0.57	0.56	0.97
Sympathetic (control)	0.75	0.60	0.52	
Vagal (noise)	0.19	0.20	0.16	0.47
Vagal (control)	0.09	0.17	0.17	
Sympathetic -vagal balance (noise)	6.43	5.11	6.29	0.31
Sympathetic -vagal balance (control)	9.71	6.85	5.62	

으로 비교 시 소음자극실험과 대조실험 사이의 유의 확률이 5% 이하인 지표는 DBP, ASBP뿐이다.

(2) 자율신경

심전도 파형의 변화를 이용해 계산하는 심박수변이도의 수치를 통해 자율신경의 흥분도를 파악 하며, 교감신경, 부교감신경, 전체 균형 값 세 가지를 3구간 비교하였다. 두 처치 간 심박수변이도의 모든 지표의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 자율신경 측정의 결과 요약은 Table 3과 같다.

Table 4 Result of subjective evaluation at noise stimulus

Section	Score(Ave.)
S1	6.4
S2	6.6
S3	6.7
S4	6.5
S5	6.7
S6	6

(3) 주관적 평가 지표

전형준은⁽⁴⁾ 각 척도에서 72% 이상의 성가심을 호소하는 경우를 “%HA(highly annoyed)”, 50% 이상의 범주를 “%A(annoyed)”, 28% 이하의 범주를 “%LA(less annoyed)”로 각각 구분하여 본인의 실험 결과를 분석하였다. 이에 이 실험에서 각 소음 자극 세부구간에 평균을 활용해 어느 정도의 범주인지를 파악하였다. 7점 이상을 %HA로 하였다.

4. 토 의

통계적으로 대조군과 실험군 사이에 유의미한 차이가 없는 지표도 존재하지만 전체적으로 대조실험에 비해 소음자극실험의 지표 값이 높은 수치를 기록하였다. 이 실험연구에서 이용한 신체 지표들 가운데 심박수변이도를 제외하고 다른 지표들의 수치 상승은 신체의 긴장도가 올라간 것으로 해석가능하다. 특히 혈압 등의 심혈관 지표들의 지속적 상승은 고혈압과 같은 심혈관 질환에 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

대조군과 실험군의 5분 단위 세부구간별 평균을 비교하면 유의확률 5% 이하인 지표는 SBP, DBP, ASBP, ADBP, HR 5가지이다. 위의 심혈관 지표들은 대체적으로 무자극 실험에서 지표 값이 감소하는 모습을 보여주고, 소음 자극 실험에서는 약간의 상승과 이를 유지하는 모습을 보여주었다. 청각실험실은 소음 이외의 영향을 최대한 줄이기 위해 조도와 습도, 온도 등을 조절한 공간이기 때문에 무자극 실험에서는 신체가 안정되어 지표들이 감소하는 모습을 보인 것으로 사료된다. Figs. 3, 4의 그래프들은 심장박동수, 혈압 등의 실험별 비교이다.

AIX와 AIX75의 경우 두 가지 비교 모두 유의확률을 만족시키지는 못했지만 회복구간에서 증가하는

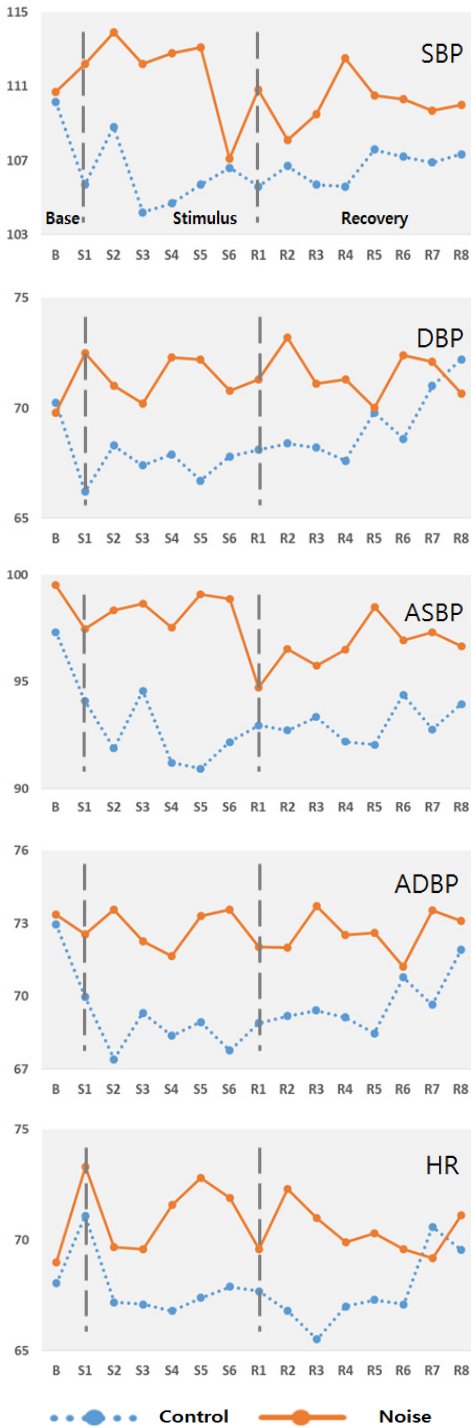


Fig. 3 Graphs of blood pressure and heart rate

추세를 보였다. 안정, 자극 구간에서는 두 실험결과가 비슷한 값으로 유지되지만 회복구간에 진입하

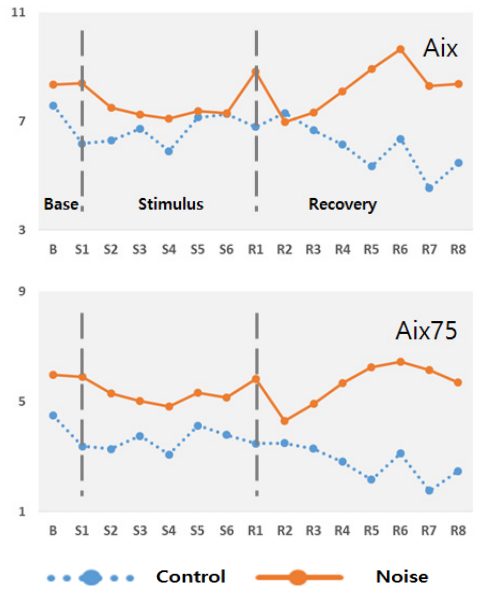


Fig. 4 Graphs of augmentation index

면서부터 자극 실험에서는 지표 값이 상승하고 무자극 실험에서는 감소하는 모습을 보여주었다. 이는 동맥경직도의 반응 속도가 다른 지표를 보다 즉각적이지 않기 때문에 나타나는 결과로 사료된다.

반면 자율신경지표인 HRV를 통해 도출된 교감신경과 부교감신경 등은 통계적으로 유의한 모습을 보여주지 못하였다. 이는 피실험자가 실험을 진행하는 80분 동안 HRV 측정에 필요한 심호흡 유지와 움직임 제한 등을 일정하게 유지할 수 없기 때문에 나온 결과로 사료된다. HRV의 측정에는 소량의 자극에도 순간적으로 변화하기 때문에 이 연구와 같이 긴 시간동안 지속적으로 측정하는 것은 한계가 있다. 따라서 자율신경 변화에 관한 측정방법에 개선이 필요하다.

5. 결론

이 연구가 철도소음과 신체지표사이의 관계를 연구하기 시작하는 기초연구이기는 하지만 피실험자의 수가 너무 적고 연령대가 다양하지 못하다는 한계점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위한 추후연구가 지속적으로 필요하며, 추후 누적되는 데이터에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 예상된다. 이 실험 연구를 통해 얻은 데이터와 추후 연구 데이터를 활용

하여 철도소음과 같은 선 음원 주변지역 주민들의 건강 영향도에 대한 상관관계 분석을 수행하고, 피해보상 등의 문제에 활용할 수 있는 기준제시를 목표로 하고 있다. 또한 웨어러블 디바이스 등을 활용한 실시간 신체 모니터링 기법을 통해 소음과 신체반응 사이의 연구를 진행 할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1D1A1A01060891).

References

- (1) Chang, S. S., Sung, J. H., Cheon, S. H., Lee, J. M., Lee, J. W. et al., 2015, The Effects of Different Noise Types on Heart Rate Variability in Men, *Yonsei Medical Journal*, Vol. 56, No. 1, pp. 235~243.
- (2) Sørensen, M., Hvidberg, M., Hoffmann, M, Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B. et al., 2011, Exposure to Road Traffic and Railway Noise and Associations with Blood Pressure and Selfreported Hypertension: a Cohort Study, *Environment Health*, DOI: 10.1186/1476-069X-10-92
- (3) Rabinowitz, P. M., Galusha, D., Christine, D. E., Clougherty, J. E. and Neitzel, R. L., 2013, The Dose

Response Relationship between In Ear Occupational Noise Exposure and Hearing Loss, *Occup Environ Med*, Vol. 70, No. 10, pp. 716~721.

- (4) Jeon, H. J., Kim, D. S., Ko, J. H., Lee, K. and Chang, S. I., 2007, Jury Evaluation Test for Annoyance Response of KTX (Korea Train Express) and Ordinary Train Noise, *Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference*, pp. 1128~1133.



Seo Il Chang completed his Ph.D. studies in the Herrick laboratories, Dept. of Mechanical Engineering, Purdue University in 1993 on nonlinear problems of mechanical systems including plates and shells. In 1997, he started his

academic professional career in the Dept. of Environmental Engineering, the University of Seoul. His major research interest has been the environmental noise and vibration control and people in his lab have generated noise maps of cities. Recently, he collaborates with researchers from other fields including transportation, GIS, air quality and public health to make environmental pollution maps and to assess health impact. His long-term research plan is to study the relations between environmental noise and urban forms.