

타이어의 모노럴 비팅음이 인체에 유발하는 영향에 관한 기초 연구

Preliminary Study on the Effects of Monaural Beating Sound of Tires to Human Body

백 광 현*
(Kwang-Hyun Baek*)

*단국대학교 기계공학과
(접수일자: 2010년 12월 17일; 채택일자: 2011년 1월 15일)

타이어 피치블록의 수에 따라 발생된 모노럴 비팅음이 사람에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정하고, 알파파 강화와 유사한 긍정적 생리 변화를 인체에 줄 수 있는지 그 가능성을 알아보았다. 실험의 반복성 및 측정 여건 등 여러 요인으로 인하여, 모노럴 비팅음 발생 타이어가 장착된 차량의 주행에서 녹음된 음을 정온한 환경의 실험실에서 재생하고 신체 반응을 HRV를 이용하여 측정한 후 각종 파라미터를 추출, 통계 분석하여 그 효과를 검증하였다. 통계적으로 유의한 결과 요소는 적었지만 긍정적 신체 변화 유발이 가능할 수도 있음을 보여주었다.

핵심용어: 모노럴 비팅, 바이노럴 비팅, 타이어, 피치블록

투고분야: 생체 및 의학 음향 분야 (15.7)

The effects of monaural beating sound generated according to the number of tire pitch blocks to human body are measured from experiments, and the possibilities of similar positive effects of enhancing alpha waves in human brain are investigated. Due to the requirement of repeatability and measurement conditions, recorded sounds of the tire noise are used for the experiment in a quiet room and human responses are measured using HRV. Although the number of statistically meaningful results was small, it showed that positive human reactions are probably possible.

Keywords: Monaural Beating, Binaural Beating, Tire, Pitch Block

ASK subject classification: Biological and Medical Acoustics (15.7)

I. 서 론

바이노럴 비팅 (binaural beating)은 두 개의 다른 주파수의 순음이 양쪽 귀를 통하여 각각 들려질 때 발생하며, 두 주파수의 차이인 비팅 주파수를 두뇌가 인지하게 된다. 비팅 주파수 음은 실제 소리가 아니지만 두 순음의 톤이 두뇌 속에서 결합될 때 뇌파 형성과 일치하며, 두뇌 신경 핵이 바이노럴 비트에 공명하여 대뇌피질로 신호를 보내고 기존의 뇌파 패턴과 섞여 현저한 신체 상태 변화를 일으킨다. 본 연구에서는 타이어의 트레드 형상에 따라 발생된 타이어 비팅음이 사람에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정하고, 인체에 긍정적 생리 변화를 줄 수 있는

지 그 가능성을 알아보았다.

알파파는 신체적 이완과 감각, 의식의 다양한 측면에 밀접한 관련을 가지는데 긴장을 완화시켜 이완을 이끌 뿐 아니라 의식 상태를 변화시켜 인지 기능을 향상시키는 데 도움을 주는 것으로 알려져 있다. Peniston과 Kulkosky [1]는 피험자들이 알파파 생성을 통해 추상적 사고력, 의식, 감각, 자기 조절 능력이 증가하는 것을 보고하였다. 이러한 연구는 Ray와 Cole [2-3], Wise [4]등의 주장과도 일치하는데 이들의 연구에 따르면 알파파는 심리적 안정 상태, 편안함, 또는 이완이 되었을 때 출현하는 것으로 보고하고 있다. 또한 김진구 [5]의 연구에서는 알파파가 수행오차의 감소와 밀접한 관련이 있음을 보고하고 있다. Hatfield [6]등의 연구에서는 피험자들이 사격을 준비하는 순간 왼쪽 후두엽과 측두엽에서 높은 알파파가 나타났다는 연구결과를 통해 운동수행과도 밀접한 관련

이 있음을 보였다. 이처럼 알파파는 다양한 연구 결과에서 잠재력 활성화, 침착성과 집중력 촉진, 통제력 향상, 반응시간 단축, 정확성, 기억, 정보처리 속도, 결정력 향상, 불안 감소, 다양한 의식 상태와 각성수준의 연속성, 상태 의존적 학습과 기억력 회복, 몸과 마음의 상호작용 등의 향상에 기여한다고 보고되고 있다. 알파파의 뇌파로 인한 생리적인 이완 반응은 자율신경계를 통해 이루어지며, 심박동변이도 (heart rate variability) 측정 장비 (HRV)를 이용하여 측정가능하다. 자율신경계의 생리지표인 심박동변이도는 동방결절의 교감신경 조절과 부교감 신경 조절을 구분할 수 있으며 전체적인 심신경 (neurocardiac) 기능을 평가할 수 있는 비침습적인 생리지표로 알려져 있다.

본 연구에서는 타이어 음을 통하여 이러한 알파파 강화와 유사한 영향을 인체에 줄 수 있는지 그 가능성을 알아보았다. 단, 차량에 장착되는 타이어가 가지는 제한성으로 인하여 바이노럴 비트를 만들 수 없으므로 효과는 상대적으로 미약하지만 모노럴 (monaural) 비팅음을 타이어에서 발생시켜 알아보았다. 이상적으로는 모노럴 비팅음이 발생되는 차량에 피실험자를 탑승시켜 실주행 상태에서 신체 반응을 측정하는 것이 원색하겠으나 실험의 반복성 (소음 조건), 신체 반응 측정 장비 탑재 및 피실험자의 여건 등 여러 요인으로 인하여, 모노럴 비팅음 발생 타이어가 장착된 차량의 주행에서 녹음된 음을 정온한 환경의 실험실에서 재생하고 피실험자의 신체 반응을 HRV를 이용하여 측정한 후 각종 파라미터를 추출, 통계 분석하여 그 효과를 검증하였다.

II. 연구 내용

2.1. 모노럴 비팅음 타이어

비팅음을 발생시키기 위한 기본 주파수는 J. C. R. Licklider [7] 등에 의해 행해진 연구 결과를 바탕으로 선정하였다. 그 연구에서는 400 cps의 기본 주파수 순음의 음압이 클수록 넓은 비팅음 주파수 대역에서 바이노럴 비팅 현상이 잘 발생하였다. 이러한 기본 주파수 순음은,

타이어의 경우 주로 피치블록의 수에 따라 정해지며 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = \frac{5pv}{18\pi D} \quad (1)$$

여기서 f (Hz)는 타이어 발생 순음의 주파수, v (km/h)는 차량의 속도, p 는 타이어 피치블록의 수, D (m)는 타이어 직경이다. 차량 속도가 60 km/h보다 낮은 저속 주행에서는 타이어 소음도 작고 정속 운행에 따른 비팅음 생성 효과가 작을 것으로 판단하여 차량의 통상적 운행 속도 범위를 60~100 km/h로 설정하였다. 표 1은 이러한 속도 영역에서 타이어가 만들어내는 순음 주파수의 예로서, 직경 64.5 cm, 피치블록 수 49개인 타이어의 경우 시속 60 km/h에서 403 Hz, 50개 일 때는 약 411 Hz의 순음이 발생되는 것을 나타내며 본 연구에서 의도하는 차량 운행 속도 범위에서 알파파 주파수 대역 (8~13 Hz)의 모노럴 비팅음을 발생시킬 수 있음을 알 수 있다. 참고로 피치의 수를 두 개 차이지게 하면 60 km/h에서는 알파파의 범위에 들지만 100 km/h에서는 베타파의 영역으로 바뀌게 된다.

이상적으로는 차량의 좌우 타이어가 위의 두 주파수 순음을 각기 발생시킨다면 바이노럴 비팅 현상을 유발할 수 있지만 차량 안전 등 여러 이유로 좌우의 타이어는 동일해야 한다. 그러므로 본 연구에서는 하나의 타이어에서 두 개의 순음을 발생시키도록 그림 1 (b)와 같이 하나의 타이어에서 좌우 비대칭 피치블록 수를 가지도록

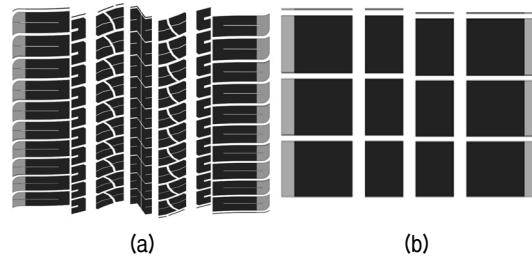


그림 1. 피치블록 패턴 (a) 기준 타이어 (b) 모노럴 비팅음 타이어
Fig. 1. Pitch block pattern of (a) reference tire and (b) monaural beating sound tire.

표 1. 속도 및 피치블록 수에 따른 발생 순음 및 비팅 주파수

Table 1. Frequency of tonal and beating sound with velocity and number of pitch blocks.

No. of pitch	$v = 60 \text{ km}/\text{h}$		$v = 100 \text{ km}/\text{h}$		For $v = 60$, $p = 51$, $f = 419.5$, $\Delta f = 16.5$
	f (Hz)	Δf (Hz)	f (Hz)	Δf (Hz)	
49	403.0	8.3	671.7	13.7	
50	411.3		685.4		

하였다. (그림에서 좌우의 차이가 거의 보이지 않는 이유는 좌우 피치블록 하나당 길이 차이가 1 mm도 안되기 때문이다.)

2.2. 측정 장비 및 측정 항목

HRV (Heart Rate Variability) 측정용 장비로는 그림 2에 보인 SA3000P모델이 사용되었다. 자율신경측정기로도 불리는 HRV는 심장 박동의 미세한 변화를 파형 분석하여 스트레스에 대한 인체의 자율신경 반응을 가시화하고 현재의 건강 상태 및 정신 생리학적 안정 상태를 확인할 수 있는 장비이다. 피실험자에 대한 청음 반응은 모든 벽면에 두께 20 cm 이상의 흡음재로 처리되어 있으며 외부 소음에 대하여 충분히 밀폐되어 있는 공간에서 수행하였다. HRV로 측정, 분석하여 구할 수 있는 많은 항목 중 본 연구에서 사용된 중요 지표로는 평균 심박동 수 (빈맥, 서맥), SDNN (Standard deviation of the NN interval), TP (total power), VLF (very low frequency power), LF (low frequency power), HF (high frequency power), LF/HF ratio, 자율신경활성도, 자율신경균형도, 스트레스저항도, 스트레스지수, 피로도, 심장안정도, 이상 심박동수 (심장의 리듬이 정상적인 범위를 벗어난 횟수를 의미하며 5회 이상의 경우 심한 움직임이 있거나 부정맥이 의심 될 수 있으므로 재 측정 또는 추가적인 검사 실시) 등이 있다.

2.3. 실험 조건 및 결과

통상적인 타이어의 경우 3~5개의 피치 패턴 (길이의 미소 변화)을 무작위 배열되도록 설계하여 큰 순음 형태



그림 2. SA3000P HRV 측정기
Fig. 2. SA3000P HRV instrument.

소음 에너지를 가급적 전 주파수 대역에 분산시킨다. 그러나 본 연구를 위해서는 사람이 인지 가능한 정도의 순음 성분이 발생되어야 하므로 이러한 두 가지 모순적 조건을 만족하는 모노럴 비팅음 발생 타이어 제작은 많은 비용과 시간이 소요되는 고 난이도의 작업이다. 따라서 모노럴 비팅음 타이어의 가능성을 탐진하는 본 연구에서는 그림 1 (b)과 같은 단순 블록 형태의 타이어 (좌, 우 트랙 각각 47,48개의 피치블록, 3가지 패턴)를 제작하여 상업적으로 이용되는 그림 1 (a) 일반타이어 (피치블록 수 100개) 대비 어떠한 효과를 유발하는지 알아보았다.

기준 타이어 및 제작된 비팅음 타이어를 주행 테스트 트랙의 부드러운 노면에서 시속 60, 80, 100 km/h의 속도로 주행하며 운전석 귀 위치에서 B&K 1/2" 마이크로폰과 PULSE 분석기를 이용하여 소음을 측정 및 녹음하고, 녹음된 음을 AUDIOTRAK imAmp 헤드폰 앰프 및 AKG K271 MK II 헤드폰을 이용하여 벽면에 20 cm 두께로 흡음 처리된 실험실에서 청음 테스트를 하였다. 모든 피실험자에게 동일한 음 재현 및 피 실험자의 차량 탑승 주행 실험의 어려움으로 녹음된 음을 이용하는 등 부분적 한계를 가지는 실험이었다. 측정음의 주파수 분석 결과는 그림 3~5에 나타내었으며, 각 속도별 비팅음 타이어 결과는 361~369 Hz, 498~508 Hz, 589~603 Hz 부근에서 두 개의 순음이 형성되고 있는 것을 보여주고 있다. 표 1의 주파수와 차이가 나는 이유는 피치블록의 수가 줄었으며 실제 차량 속도는 계기판 속도보다 작기 때문이다. 기준 타이어 대비 비팅음 타이어의 차이가 유발하는 생리적 변화를 표 2의 테스트 조건에 대하여 HRV를 이용해 측정하였다. 각 조건의 대상은 60 km/h가 32명, 80 km/h가 28명, 100 km/h가 30명으로 각 개인을 통해 얻어진 데이터는 통계 프로그램 (SPSS)을 사용하여 대응 t 검증 (paired t test)으로 분석하였다. 대응 표본 t 검증은 두 평균값의

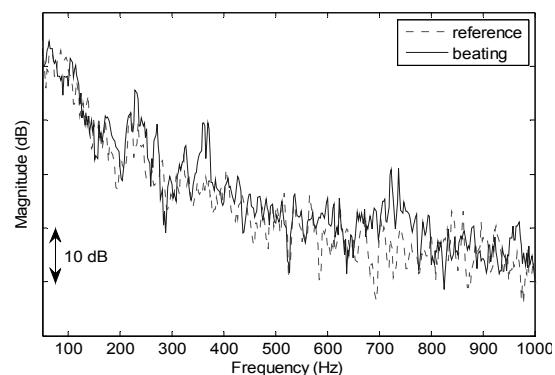


그림 3. 타이어 소음의 스펙트럼 (60 km/h)
Fig. 3. Spectra of tire noise at 60 km/h.

차이를 통계적으로 분석하는 방법으로 동일한 대상의 사전, 사후 값을 비교하는 것이다. 각 실험 조건의 피실험자 수는 유효 결과를 얻을 수 있었던 사람들의 숫자로 유효 통계 해석을 할 수 있는 숫자였으며 실제 피실험자 수 또는 실험 횟수는 약 60~70 % 정도 더 수행되었으며 분석 결과는 그림 6~11과 표 3~5에 나타내었다. 통계적 유의성 증진을 위하여 1인에 대한 중복/다중 평가를 하는 것이 바람직하나 1회 실험에 최소 40분에서 1시간 이상이 소요되는 등 현실적 제한 조건으로 이루어지지 못했다.

측정 결과 60 km/h에서 HF 값이 $t=-3.13$ ($P<.01$)의 값을 나타내 비팅이 생성되는 타이어의 음과 기준 타이어

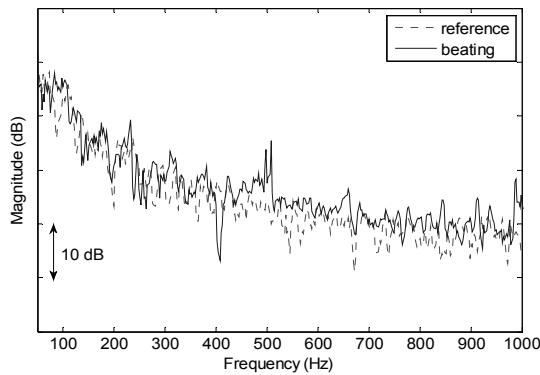


그림 4. 타이어 소음의 스펙트럼 (80 km/h)
Fig. 4. Spectra of tire noise at 80 km/h.

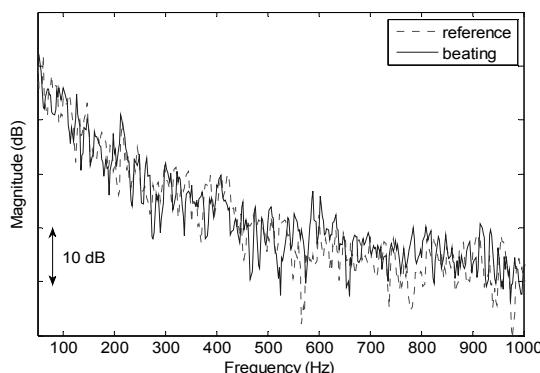


그림 5. 타이어 소음의 스펙트럼 (100 km/h)
Fig. 5. Spectra of tire noise at 100 km/h.

표 2. 비팅음 타이어 테스트 조건
Table 2. Test conditions for beating sound tire.

Test No.	Tire	Speed (km/h)
1	Reference	60
2	Beating	60
3	Reference	80
4	Beating	80
5	Reference	100
6	Beating	100

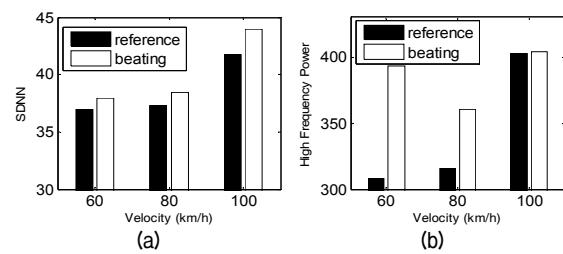


그림 6. (a) SDNN, (b) HF의 평균값
Fig. 6. Mean value of (a) SDNN, (b) HF.

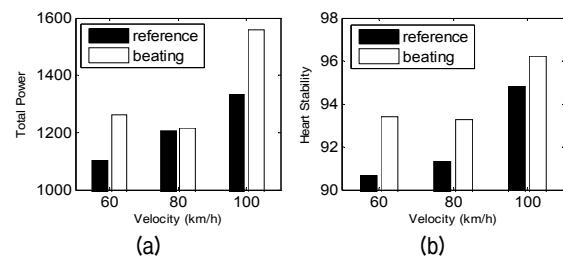


그림 7. (a) Tp, (b) 심장안정도의 평균값
Fig. 7. Mean value of (a) TP, (b) heart stability.

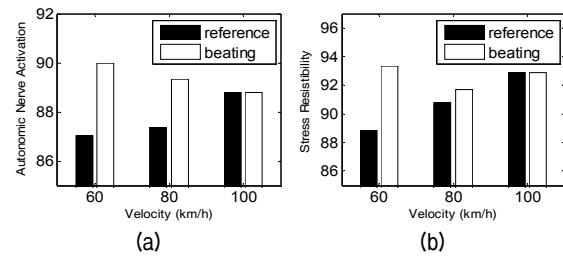


그림 8. (a) 자율신경활성도, (b) 스트레스 저항도의 평균값
Fig. 8. Mean value of (a) autonomic nerve activation, (b) stress resistibility.

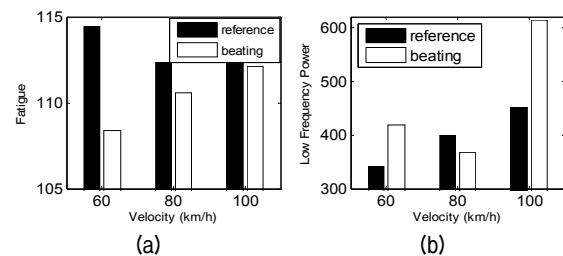


그림 9. (a) 피로도, (b) LF의 평균값
Fig. 9. Mean value of (a) fatigue, (b) LF.

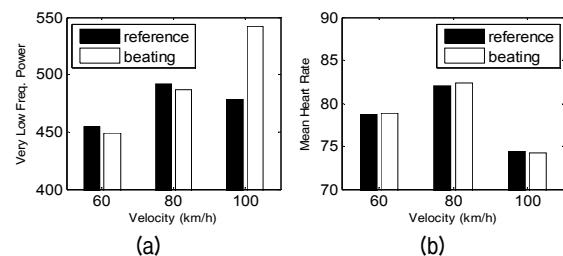


그림 10. (a) VLF, (b) 평균 심박동수의 평균값
Fig. 10. Mean value of (a) VLF, (b) mean heart rate.

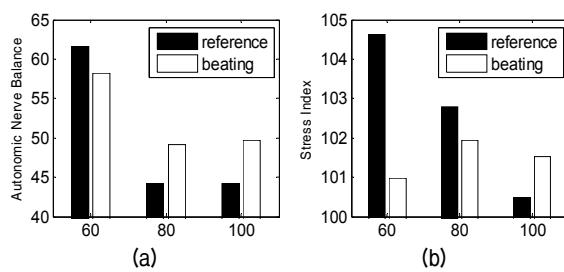


그림 11. (a) 자율신경균형, (b) 스트레스지수의 평균값
Fig. 11. Mean value of (a) autonomic nerve balance, (b) stress index.

의 음이 99 % 수준에서 유의미한 차이를 나타내었다. 이는 이완 상태를 나타내는 부교감 신경의 유의한 증가를 나타내는 것으로 비팅음이 생리적 이완 요소로 작용하였음을 알 수 있다. 반면, 다른 파라미터 값에서는 통계적인 유의성을 발견할 수 없었다. 비록 통계적인 유의성을 나타내지는 않았으나 각 조건 간의 평균값들을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 먼저, SDNN, HF, TP의 값은 1, 3, 5의 기준 타이어에 비해 2, 4, 6의 비팅음 타이어에서 증가하였다. 이는 비팅음 생성 타이어 실측 음이 자율신경계의 생리적 변수들에 긍정적인 역할을 담

표 3. 60 km/h 조건의 통계 분석 결과
Table 3. Statistical analysis results with 60 km/h test condition.

(사전-사후) 대응 계산 항목	대응차				t	자유도	유의확률 (양쪽)		
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95 % 신뢰구간					
				하한	상한				
SDNN	-0.94	11.39	2.01	-5.05	3.16	-0.47	31	0.643	
LF	-76.96	308.80	54.59	188.30	34.37	-1.41	31	0.169	
HF	-84.79	153.08	27.06	139.98	-29.59	-3.13	31	0.004	
TP	156.40	205.38	213.08	590.99	278.19	-0.73	31	0.468	
자율신경활성도	-2.94	14.95	2.64	-8.33	2.45	-1.11	31	0.275	
자율신경균형도	3.41	52.23	9.23	-15.42	22.24	0.37	31	0.715	
스트레스저항도	-4.44	17.94	3.17	-10.91	2.03	-1.40	31	0.172	
스트레스지수	3.66	10.68	1.89	-0.19	7.51	1.94	31	0.062	
피로도	6.06	14.49	2.56	0.84	11.29	2.37	31	0.024	
평균심박동수	-0.16	2.00	0.35	-0.88	0.57	-0.44	31	0.662	
심장안정도	-2.72	7.93	1.40	-5.58	0.14	-1.94	31	0.062	
자율신경계비	0.11	2.10	0.37	-0.65	0.87	0.29	31	0.774	
VLF	5.35	156.57	204.45	411.64	422.34	0.03	31	0.979	

표 4. 80 km/h 조건의 통계 분석 결과
Table 4. Statistical analysis results with 80 km/h test condition.

(사전-사후) 대응 계산 항목	대응차				t	자유도	유의확률 (양쪽)		
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95 % 신뢰구간					
				하한	상한				
SDNN	-1.11	7.00	1.32	-3.82	1.61	-0.84	27	0.409	
LF	31.80	460.09	86.95	146.61	210.20	0.37	27	0.717	
HF	-44.33	283.68	53.61	154.33	65.67	-0.83	27	0.416	
TP	-7.81	777.46	146.93	309.27	293.66	-0.05	27	0.958	
자율신경활성도	-1.96	13.95	2.64	-7.37	3.44	-0.75	27	0.463	
자율신경균형도	-4.86	43.24	8.17	-21.62	11.91	-0.59	27	0.557	
스트레스저항도	-0.96	7.15	1.35	-3.74	1.81	-0.71	27	0.481	
스트레스지수	0.86	7.74	1.46	-2.15	3.86	0.59	27	0.563	
피로도	1.76	17.05	3.22	-4.82	8.40	0.55	27	0.584	
평균심박동수	-0.36	2.26	0.43	-1.24	0.52	-0.84	27	0.411	
심장안정도	-1.93	18.27	3.45	-9.01	5.15	-0.56	27	0.581	
자율신경계비	-0.21	1.92	0.36	-0.95	0.54	-0.57	27	0.573	
VLF	4.72	587.27	110.98	223.00	232.44	0.04	27	0.966	

당하는 것으로 볼 수 있다. (표 2의 조건 숫자 참조) 또한 심장안정도, 자율신경활성도, 스트레스 저항도, 피로도에 있어서도 비팅음이 생성되는 조건 모두에서 긍정적인 생리적 변화의 동일한 경향을 찾을 수 있었다. 그러나 LF, VLF, 자율신경균형도, 스트레스지수, 평균 심박동수의 변화는 동일한 경향성을 발견할 수 없었다.

청취 테스트 결과는 여러 항목이 비팅음 타이어가 생리적 반응에 긍정적 변화를 가져오는 평균적인 결과를 보여주고 있다. 그러나 한 가지 항목을 제외하고는 통계적 유의성이 없으므로 그 효용성에 대하여 학술적으로 결론을 내리기는 어렵다. 여러 가지 원인을 추정할 수 있으며 그 중 하나는 비팅음 타이어가 필연적으로 발생시키는, 배경음 대비 매우 큰 순음 성분 음이 비팅에 의한 효과를 반감시키거나 분산시키는 것으로 판단된다. 짜증감과 긴장감에 대한 추가적인 청음 실험 결과 (그림 12와 표 6), 100km/h에서는 기준 타이어 대비 비팅음 타이어에 대한 긴장감과 짜증감이 다 증가하였으나 80 km/h에서는 반대로 둘 다 감소하는 다소 예상 밖의 결과를 보였다. 100 km/h의 경우 긴장감은 $t=-2.43$ ($P<.05$)로 95 % 신뢰수준

에서 유의미한 결과를, 짜증감의 경우도 $t=-2.81$ ($P<.01$)로 99 % 신뢰수준에서 유의미한 결과를 나타내었다. 이는 고음의 피치에서 정서적인 불쾌감이 증가하는 것으로 볼 수 있다. 다소 흥미로운 관찰 사실은, 통계적 조사와 기록을 하지 않은 음의 질에 관한 대체적인 느낌을 묻는 질문에 예상보다 훨씬 많은 (대략 절반 정도) 피실험자들이 기준 타이어음을 더 안 좋게 평하거나 비팅음 타이어에 비하여 별 차이가 없는 것으로 평했다는 것이다. 이에 대한 객관적 해석은 추후의 연구 과제에서 중요하게 다루어야 할 부분으로 추정된다.

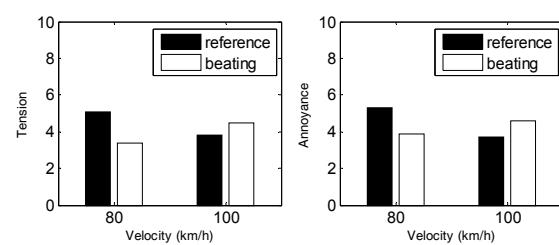


그림 12. (a) 긴장감, (b) 짜증감의 평균값

Fig. 12. Mean value of (a) tension, (b) annoyance.

표 5. 100 km/h 조건의 통계 분석 결과

Table 5. Statistical analysis results with 100 km/h test condition.

(사전-사후) 대응 계산 항목	대응차				t	자유도	유의확률 (양쪽)		
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95 % 신뢰구간					
				하한	상한				
SDNN	-2.16	11.33	2.07	-6.39	2.07	-1.04	29	0.306	
LF	161.81	72.69	195.85	562.36	238.74	-0.83	29	0.415	
HF	-1.99	364.59	66.56	138.14	134.15	-0.03	29	0.976	
TP	226.71	359.76	248.26	734.45	281.04	-0.91	29	0.369	
자율신경활성도	-0.03	13.39	2.44	-5.03	4.97	-0.01	29	0.989	
자율신경균형도	-5.43	47.01	8.58	-22.99	12.12	0.63	29	0.532	
스트레스저항도	0.00	13.34	2.43	-4.98	4.98	0.00	29	1.000	
스트레스지수	-1.07	8.50	1.55	-4.24	2.11	-0.69	29	0.497	
피로도	0.37	19.70	3.60	-6.99	7.72	0.10	29	0.920	
평균심박동수	0.20	2.09	0.38	-0.58	0.98	0.52	29	0.604	
심장안정도	-1.43	13.24	2.42	-6.38	3.51	-0.59	29	0.558	
자율신경계비	-0.07	1.92	0.35	-0.79	0.64	-0.21	29	0.835	
VLF	-62.91	575.43	105.06	277.77	151.96	-0.60	29	0.554	

표 6. 100 km/h 조건의 긴장감과 짜증감 통계 분석 결과

Table 6. Statistical analysis results for tension and annoyance with 100 km/h test condition.

(사전-사후) 대응 계산 항목	대응차				t	자유도	유의확률 (양쪽)		
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95 % 신뢰구간					
				하한	상한				
긴장감	-0.70	1.58	0.29	-1.29	-0.11	-2.43	29	0.022	
짜증감	-0.97	1.88	0.34	-1.67	0.24	-2.81	29	0.009	

III. 결 론

본 연구에서는 타이어 소음으로부터 알파파와 유사한 신체적 영향력을 도출할 수 있는지 HRV 장비를 이용하여 생리적 지표들의 변화를 살펴보았다. SDNN, HF, TP의 평균값이 비팅음 타이어에서 증가하였다. 이는 모노럴 비팅음 타이어가 인체의 자율신경계의 생리적 변수들에 긍정적 역할을 한 결과로 추정되지만 HF를 제외하고는 통계적 유의성이 없어서 명확한 결론을 내리기는 어렵다.

측정과정에서의 경험 및 주요 관찰 결과를 정리하면 다음과 같다. 비팅음을 발생시키기 위해서는 두 개의 명확한 순음이 필연적으로 필요하지만 일반적으로 명확한 순음은 동시에 심리적, 감성적으로 부정적인 반응을 유발하므로 순음 발생의 크기를 적절한 양으로 줄일 수 있어야 하는데, 이는 타이어 설계 특성상 매우 까다로운 문제로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 타이어가 통상적으로 가져야 하는 피치블록의 숫자가 최소 45~50개 이상이어야 하는 현실적 여건을 고려할 때, 타이어 회전 속도 증가로 인하여 생기는 고주파의 기본주파수 (최소 400 Hz 이상) 순음 소리는 사람들에게 심리, 감성적으로 부정적 반응을 유발할 가능성이 크다. 따라서 평균적으로 긍정적 반응을 유발하는 비팅음을 고주파가 아닌 저주파 영역의 순음 발생을 통하여 얻을 수 있다면, 타이어 소음을 인체에 좋은 영향을 주는 쪽으로 응용할 수 있을 것으로 추정된다. 타이어 소음의 실험 결과, 속도 별로 일관되지 않은 결과를 보이는 요소들이 존재하며, 원인이 고속에 따른 고주파화 된 순음의 영향인지 또는 종합적으로 변하는 타이어 전체의 배경음이 원인인지는 현재의 연구 결과로는 확인 할 수 없었다. 또한 HRV를 이용한 정량적 측정의 실험이었으나, 개인들이 가지는

심인적인 요소가 측정 결과에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보이며 이러한 영향을 배제하기 위하여 정교하게 설계된 실험 기획과 경험 및 테크닉 [8]이 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. E. G. Peniston and P. J. Kulkosky, "Alcoholic personality and alpha-theta brainwave training," *Medical Psychotherapy*, vol. 3, pp.37-55, 1990.
2. W. J. Ray and H. W. Cole, "EEG activity during cognitive processing: influence of attentional factors," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 3, no. 1, pp. 43-48, 1985.
3. W. J. Ray and H. W. Cole, "EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes," *Science*, vol. 228, no. 4700, pp. 750-752, 1985.
4. A. Wise, *The high-performance mind*, Putnam, New York, 1995.
5. 김진구, "뇌파 자기조절 바이오피드백을 통한 운동학습과 EEG 변화," *한국스포츠 심리학회지*, 제12권, 제1호, 1-13쪽, 2001.
6. B. D. Hatfield, D. M. Landers and W. J. Ray, "Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen," *Journal of Sport Psychology*, vol. 6, no. 1, pp. 42-59, 1984.
7. J.C.R. Licklider, J. C. Webster and J. M. Hedlin, "On the frequency limits of binaural beats," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 22, no. 4, pp. 468-473, 1950.
8. 이상우, 조연, 박종근, 황대선, 송차문, 이철희, "청소기 소음 측정을 위한 객관적 음질 특성 분석," *한국음향학회지*, 29권, 4호, 258-264쪽, 2010.

저자 약력

•백 광 현 (Kwang-Hyun Baek)

1992년: ISVR, Southampton University (MSc)
1996년: ISVR, Southampton University (Ph.D.)
1999년 3월 ~ 현재: 단국대학교 기계공학과 부교수