

응용논문

뇌파를 이용한 적정 자동차 내부소음의 평가  
Evaluation of Car Interior Noise by Using EEG

김 정룡\*  
Kim, Jung Yong  
박 창순\*\*  
Park, Chang Soon

Abstract

In this study, psychophysiological stress was quantitatively evaluated at various car interior noise levels by using Electroencephalogram(EEG). An experiment was performed to investigate the most comfortable range of noise level during simulated driving condition. Twelve healthy volunteers participated in the experiment. They were asked to operate the driving simulator while six levels of interior noise were given, such as 45dB(A), 50dB(A), 55dB(A), 60dB(A), 70dB(A), 80dB(A), and maximal subjective noise level. EEG signals were recorded for 60 seconds in each noise level. The power spectral analysis was performed to analyze EEG signal. At the same time, psychological stress was also measured subjectively by using a magnitude estimation method. The results showed that subjective stress and EEG spectrum indicated a statistically significant difference between noise levels. In particular, high level noise produced an increase in beta power at temporal(T3, T4) areas. It was also found that beta activity was highly correlated with subjective perception of discomfort, and subjects responded to car interior noise as arousing or negative stimuli. Moreover, beta power remained stable above 70dB(A), whereas subjective discomfort continued to increase even above 70dB(A). We concluded that brain waves could provide psychophysiological information of drivers emotional reaction to car interior noise. Thus, EEG parameters could be a new measure to determine optimal noise level in ergonomic workplace design after further verification in various experimental conditions.

1. 연구 배경 및 목적

전 세계적으로 경쟁적 공업화 및 문명사회의 급속한 고도화에 따라, 자동차는 이제 수송수단으로서 가장 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 추세에 맞춰 자동차의 안전성, 편의성과 더불어 안락도가 구매자의 자동차 선택기준으로 크게 부각되고 있으며, 안락도의 기본인자들은 온도, 공기 순환, 먼지, 조명 등이 있으나, 서구 선진국들의 환경 규제 증가와 녹색운동과 같은 환경 캠페인의 분위기가 확산되면서, 자동차 내부소음이 안락도를 결정하는 중요한 요인으로 대두되고 있다. 소음은 짜증과 정서 불안 등 심리적(감성)요인의 변화를 초래하기도 하며, 혈액 순환과 호흡, 동공 크기변화, 뇌파(EEG: Electroencephalogram)의 변화 등의 생리적 변화를 초래할 수 있으며, 궁극적으로 신체의 병으로 발전할 수 있다(Jansen, 1991; IPCS, 1980.). 그러나, 소음이 모두 나쁜 영향을 주는 것은 아니며 적정 수준의 소음은 인간의 감성과 수행에 좋은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Broadbent, 1978).

\* 한양대학교 산업공학과

\*\* 안산테크노파크 특성화기술개발팀

자동차의 소음은 크게 외부로 전달되는 소음형태와 차 내부로 전달되는 소음으로 구분된다. 외부로 전달되는 소음은 환경 문제와 크게 결부되어 있고, 승용차의 설계 시, 법으로 주행 소음 75dB(A), 배기소음 62dB(A) 등으로 제한(환경보전법, 1996)을 두고 있으며, 국내외 적으로 많은 연구가 행해지고 있다. 하지만 자동차의 안락도와 밀접한 관계를 갖는 내부소음은 자동차의 상품성과 관련되어 자동차 제작회사의 자체기준을 따르며, 그 연구와 규정은 미비한 상태이다. 내부 소음 자체는 엄격한 물리법칙을 따르고 있고, 이를 바탕으로 해서 과학적 측정과 분석이 가능하지만, 결국 소음은 사람이 느끼는 것이기 때문에 소음의 평가와 방지 대책 강구는 필연적으로 인체의 반응에 대한 고려를 필요로 하고 있다(은희준, 1992).

내부 소음의 평가는 소음과 인체반응 사이의 통계적 상관관계를 바탕으로 하고 있으나, 인간의 감성은 복잡하며 생리 및 심리(감성)적 등의 요소를 가지고 있다. 또한, 개인의 운전 능력, 경험, 지식 및 의지와 운전상황에 따라서도 그 특성이 변화함으로써 그 측정과 평가가 어렵다(Brian Peacock, 1993). 기존의 자동차 내부소음 평가방법은 설문문을 통하여 주관적 측정(subjective rating)이 주된 측정 방법이었으나 이 방법은 객관적 정량화의 문제점을 가지고 있음으로 인하여 객관적 평가가 가능한 모수(parameter)의 개발이 요구되고 있다.

인간의 시각, 청각 등의 특수 감각을 대상으로 하여 감성(쾌감, 불쾌감)상태의 특징을 구별하는 뇌파(Electroencephalogram : EEG)의 분석에 관한 연구들이 국내에서 진행(황민철 외3, 1997; 김용수 외3, 1998)되고 있으며, 근래에 들어 자동차에 생리적 계측장비를 장착하고 실제로 운전 중인 상황에서 운전자의 변화를 알아보려는 연구(Brookhuis, 1991)와 피실험자의 안전을 위하여 실험실에서 피실험자에게 같은 상황을 설정할 수 있는 Driving Simulator에 관한 연구가 되어지고 있다(Horiguchi & Suetomi, 1995). 특히 운전자의 뇌파를 측정할 결과, 기차나 자동차를 오랜 시간 운전하게 되면, 운전자의 뇌파활동은 감소하게 되며, 뇌전도 파워스펙트럼의 theta band(4-8 Hz)와 alpha band(8-13 Hz)에서의 증가는 자동차를 운전하는 동안 수행능력의 감소를 일으킬 수 있다(Brookhuis et al., 1986).

본 연구에서는 Driving Simulator를 사용하여 자동차 내부 안락도와 관련이 높은 내부소음 수준을 측정하였다. 특히 뇌파를 이용한 생리학적 측정방법(physiological techniques)과 주관적 측정 방법(subjective procedure)을 통하여(Wierwille & Eggemeier, 1993) 정량적으로인 평가와 정성적인 평가를 비교·검토하여 결과의 신뢰도를 높이고, 운전자의 감성을 고려한 적정수준의 소음을 측정하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 귀무가설

본 연구에서는 각 소음 수준별로 청각 자극이 제시 될 때, 심리·생리적으로 차이가 없다는 것이 귀무가설로 설정하였으며, 이에 따른 세부가설들은 다음과 같다.

- ▶ 운전 시 각 소음수준별 EEG의 변화가 없다.
- ▶ 운전 시 각 소음수준별 주관적 소음의 성가심의 차이가 없다.

### 2.2 실험장비 및 내부 구성도

자동차 내부 소음 측정을 위하여 한국공업규격(KS C 1505, 1987)에 따른 정밀소음계(B&K Type 2236)를 사용하였다. 신갈-안산간 고속도로에서 차량의 내부 소음을 측정하기 위

하여, 청감보정 회로는 A특성 그리고 소음계의 동특성은 Fast로 하여(KS A 0701, 1987) 평균 소음도, 즉 등가소음도(Equivalent Sound Level, Leq)를 K사 2000cc 가솔린 엔진의 자동차를 사용하여, 측정하였다.

청각 자극으로 제시할 소음을 녹음하기 위하여, Digital Audio Tape/Recorder(DAT, Sony Model PC208A)를 이용하였고, rpm 별로 소음의 형태가 다르게 나타남으로, 피실험자에게 소음 제공 시 오류를 최소화하기 위하여 rpm 2500이하의 안정 상태를 유지하면서, 자동차의 내부소음을 녹음한 후 보정기(B&K Type 4231)를 이용하여 소음을 Inkel사의 증폭기(AI110)로 재생하였다. 이때의 차량 속도는 100km/h였고, 소음수준은  $71 \pm 2\text{dB(A)}$ 를 기록하였다.

현장감 있는 화상제공을 위하여 신갈-원주간 고속도로에서 속도를 80-100Km/h 정도로 유지하면서, K의 캠코더(GS-H200)를 사용하여 촬영하였다. 운전의 모의 상황을 화면에 나타내기 위하여 사용된 Beam projector는 Information System사의 LitePro210을 사용하였다. 운전애 사용된 장비는 실제 차가 아닌 실험실에 설치되어 있는 기기를 사용하였다. 이러한 모의용 기기는 실험 중에 일어날 수 있는 사고의 요인을 배제할 수 있으며, 모든 피실험자에게 같은 상황을 설정할 수 있으므로 운전 상황변화에 따른 변수를 줄일 수 있는 장점이 있다 (Horiguchi & Suetomi, 1995).

뇌파 신호를 추출하기 위하여 32 채널 Neuronics EEG시스템을 이용하였다. 신호 추출 sampling frequency는 256Hz로 설정하여 각 채널별로 사용하였다(John, 1996). 각 채널별로 LPF(Low pass filter)는 30Hz, HPF(High pass filter)는 0.5Hz로 조정하여 신호를 추출하였으며, 측정된 자료는 Pentium process II PC를 이용하여 저장 및 분석을 하였다. 전체 실내 구성도는 [그림 1]과 같다.

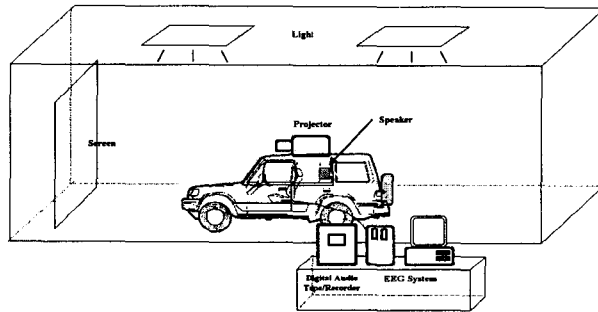


그림 1. 실내 구성도

## 2.2 음압수준 및 전극 부착위치 결정

실제 차량의 소음 수준을 측정한 결과, 약 정지상태와 100km/h의 속도에서 각각 약 38dB(A)와 71dB(A) 정도임을 알 수 있었다. 피실험자들이 민감하게 반응하는 구간의 설정과 실험 절차상 오류의 방지를 위하여 선행 실험을 하였다. 실험결과, 소음에 관하여 측두엽(temporal)의 T3, T4 lobe에서 50dB 전 후로 하여 beta파 출현의 큰 변화를 볼 수 있었다. 따라서 10-20 국제전극부착법에 따라 T3, T4를 측정하였으며, 큰 변화를 나타내는 50dB를 중심으로 소음 수준을 45dB, 50dB, 55dB, 60dB, 70dB, 80dB로 결정하였다. 또한 가장 높은 수준의 소음은 피실험자가 운전시 넘지 말아야 할 소음수준을 주관적으로 선택하도록 하였다.

### 2.3 피실험자

본 연구에 참여한 피실험자는 청력과 심장 및 신경 계통에 질환이 없는 12명의 운전이 가능하고 건강한 남자 성인을 대상으로 하였으며, 실험을 위한 기본 정보를 마련하는 단계로서 설문지를 통하여 연령, 실험 당일의 몸 상태와 운전실력을 조사하였다. 운전 경력을 기준으로 초보 운전자와 숙련 운전자로 구분을 하였다. 구분의 기준은 실제 운전 경력이 5년 이상이거나 운전직종에 3년 이상 근무를 한 사람으로 하였으며, 피 실험자의 주관적 생각도 포함을 하였다. 실험 당일에는 흡연이나, 커피 알코올 복용을 하지 않도록 하였다.

### 2.4 실험 계획

총 12명의 피실험자들을 대상으로 2개의 독립변수(운전실력, 소음수준)에 대하여 2×6(Mixed-factors Design)요인 배치를 하였고, 독립변수들의 수준과 실험계획은 각각 [표 1]과 [표 2]에 나타내었다. 실험 순서는 라틴방격법(Latin Square Design)을 이용하여 무작위로 실험을 실시하였다.

표 1. 독립변수들의 수준

독립변수	수준
운전 숙련도	비숙련, 숙련
소음 수준	45, 50, 55, 60, 70, 80, 최대소음수준 [dB(A)]

표 2. 실험 계획도

			<Within-Subject Variable>					
			소음 수준 [dB(A)]					
			45	50	55	60	70	80
<Between-Subject Variable>	숙련도	숙련	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6
		비숙련	S7-S12	S7-S12	S7-S12	S7-S12	S7-S12	S7-S12

### 2.5 실험 과정

피 실험자의 병력사항 및 실험 당일의 몸 상태를 확인하여 실험이 적합한지를 판정한다. 실험의 목적과 주의 사항을 제시하고, 뇌파측정을 위한 전극을 부착한다. 뇌파 측정을 위해 cap electrode를 사용하는데, 각 채널별 noise(부적절한 신호)를 확인한다. Simulator에 탑승한 상태에서, 모의 운전 상황에 익숙해지도록 10분내외의 안정시간과 적응 시간을 제시한다. 청각 자극이 없는 상태와 소음의 주관적 성가신 정도를 주관적 척도로 알아보기 위한 기준 청각 자극인 40dB(A)의 소음을 제시하고 동시에 뇌파를 측정한다. 그후 설정된 실험 순서에 따라 측

정을 반복한다. 청각 자극의 제시를 할 때, 소음의 정도를 천천히 증가시키고, 소음 노출 시간을 3분으로 하며 측정은 2분 노출 후 1분 동안 실시하였다. 지속적인 소음으로 인하여 일시적인 청력의 손실이 발생하는데(Kryter, 1985), 휴식간격은 5분 이상으로 하여 일시적 난청(temporary threshold shift at 2 min, TTS2)으로 인한 영향이 없도록 한다. 70db(A)이 넘는 높은 수준의 소음은 피 실험자가 장시간 운전을 해도 부담을 느끼지 않을 것 같은 소음을 주관적으로 선택하도록 하고, 이를 통하여 실험 시 제한하여야 할 소음수준의 범위를 파악한다. 또한 가장 운전하기 적절한 소음 수준을 주관적으로 측정한다. 모든 실험 준비를 마친 피실험자를 [그림 2]에서 나타내었다.

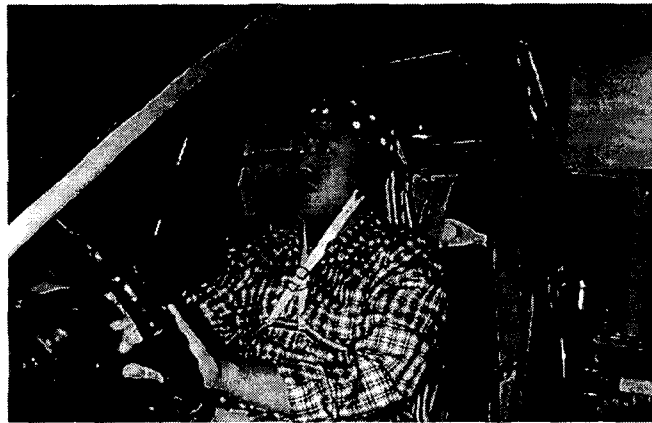


그림 2. 실험장면

## 2.6 분석 방법

본 연구에서는 뇌파 분석을 위해 민감도가 높은 주파수 영역의 분석을 하였다. 시간영역을 주파수영역으로 변환하기 위하여 FFT변환(Fast Fourier Transform)을 실시했으며, 그 결과 뇌파의 주파수 대역별 delta(0.5~4Hz), theta(4~8Hz), alpha(8~12Hz), beta(12~30Hz)의 구분을 하였다.

피 실험자간 혹은 소음 수준간의 비교를 위하여 정규화를 실시하였다. 본 연구에서 제시한 가장 낮은 음압수준이 본 실험에서 피실험자가 느끼는 가장 작은 부담도의 수준이며, 가장 높은 음압수준이 피실험자가 느끼는 가장 높은 부담수준이라는 가정을 두고, 그 수준간의 EEG 상대 스펙트럼(%)의 차를 범위(range)로 하여 정규화를 하였다[식 1].

$$\text{정규화된 상대스펙트럼}(x) = \frac{\text{측정된 상대스펙트럼}(x) - \text{상대스펙트럼}_{\min}}{\text{상대스펙트럼}_{\max} - \text{상대스펙트럼}_{\min}} \dots [\text{식 1}]$$

각 소음 수준에 따라, 정규화된 상대 스펙트럼에 대해 분산분석(ANOVA, Analysis of Variance)을 실시하였으며, 분산분석시 유의한 차이가 나오는 인자와 수준을 구체적으로 추출하기 위하여, post-hoc tests로써 Duncan's 다중범위 검정(Multiple Range Test)을 실시하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 뇌파 분석 결과

뇌파 분석을 통하여 2가지 독립변수(운전실력, 자동차 내부 소음 수준)에 대하여 종속변수인 EEG 상대 스펙트럼의 영향을 알아보기 위하여 T3, T4의 alpha파와 beta파의 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 뇌파 측정 시, 피실험자의 안정상태(rest condition)을 측정하여 소음 노출에 대한 변화를 함께 측정·분석하여, 총 8수준(안정상태와 7수준의 소음수준)에 대한 분산분석이 실시되었다. T4에서의 beta파와 alpha파의 분산분석 결과를 [표 3]와 [표 4]에 나타냈으며, T4의 beta파 분산분석 결과, 유의 수준  $\alpha = 0.01$  조건하에서 소음수준별 beta파의 유의한 차이를 나타내었다. 하지만, T3, T4에서의 alpha파와 T3 beta파는 유의 수준  $\alpha = 0.05$  조건하에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 3 . T4 beta파 분산분석

Source	DF	SS	MS	F_Value	Pr > F
Between-Subject					
운전실력	1	6.47758991	6.47758991	0.63	0.4457
S(운전실력)	10	102.7744704	10.2774470		
Within-Subject					
소음수준	7	47.2554616	6.7507802	3.48	**0.0029
소음수준*운전실력	7	10.9963839	1.5709120	0.81	0.5821
소음수준*S(운전실력)	70	135.785583	1.9397940		
Model	95	303.289489			

(\*:p<0.05, \*\*:p<0.01에서 각각 유의함)

표 4. T4 alpha파 분산분석

Source	DF	SS	MS	F_Value	Pr > F
Between-Subject					
운전실력	1	10.1145710	10.1145710	1.65	0.2279
S(운전실력)	10	61.3024635	6.1302464		
Within-Subject					
소음수준	7	20.7257274	2.9608182	1.25	0.2902
소음수준*운전실력	7	18.0369622	2.5767089	1.08	0.3830
소음수준*S(운전실력)	70	166.4095004	2.3772786		
Model	95	276.5892244			

T4 beta파의 출현빈도에 유의한 영향을 보인 소음에 대하여 유의 수준  $\alpha = 0.05$ 에서 Duncan's 다중범위 검정(Multiple Range Test)을 이용하여 Post-hoc Test를 실시하였다. [그림 3]에서 안정상태를 제외한 T4에서의 alpha파와 beta파의 음압수준별 변화형태를 나타내었으며, beta파의 Duncan's 다중범위 검정 결과를 나타내었다. Post-hoc test를 실시한 결과, 유의한 2개의 그룹으로 형성이 이루어지며, 45dB(A)에서 55dB(A)의 구간에서 beta 파가 낮은 수준을 유지하였다.

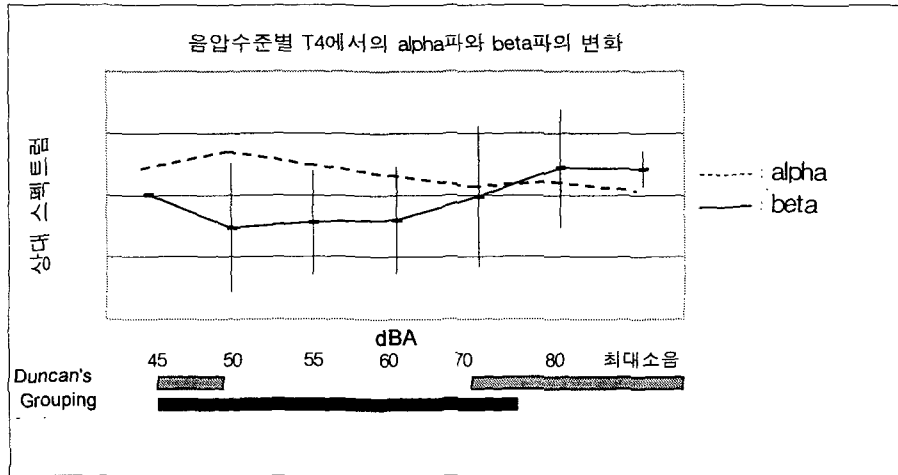


그림 3. 음압수준별 T4에서의 alpha파와 beta파의 변화

### 3.2 소음에 대한 주관적 성가심 분석

소음에 대한 주관적 성가심의 분산분석(ANOVA) 결과는 [표 5]에서 보는 바와 같이 자동차 내부 소음 수준에 따라 유의 수준 0.01에서 유의한 차이를 보였다. [그림 4]는 소음 수준에 대하여 추후 분석을 실시한 결과인데, 40dB(A)에서 피 실험자가 한계라고 느끼는 수준 모두 유의수준 0.05에서 유의하게 차이를 나타내었다.

표 5. 자동차 내부 소음에 대한 주관적성가심 분산분석

Source	DF	SS	MS	F_Value	Pr > F
Between-Subject					
운전실력	1	0.00217850	0.00217850	0.04	0.8400
S(운전실력)	10	0.50720498	0.05072050		
Within-Subject					
소음수준	6	9.15005711	1.52500952	185.29	**0.0001
소음수준*운전실력	6	0.01113517	0.00185586	0.23	0.9669
소음수준*S(운전실력)	68	0.49382545	0.00823042		
Model	83	10.16440121	0.12246267		

(\*:p<0.05, \*\*:p<0.01에서 각각 유의함)

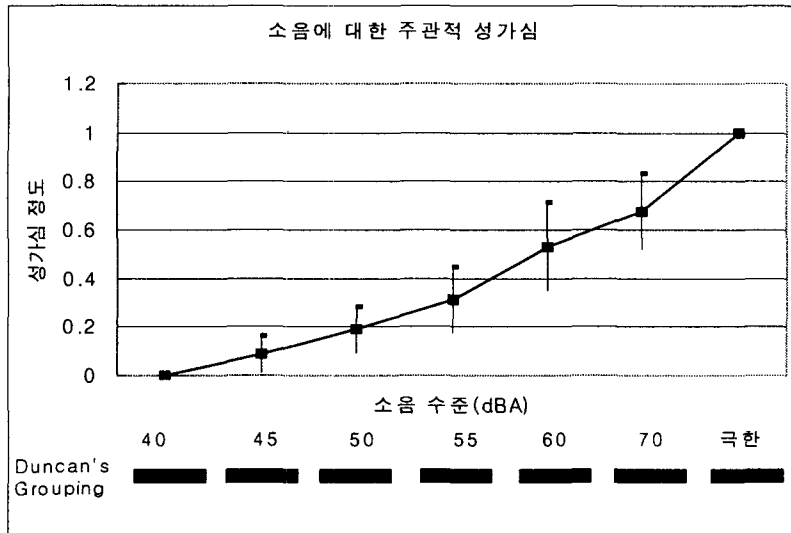


그림 4. 소음에 대한 주관적 성가심 추후분석

#### 4. 토 의

본 연구는 자동차 운전시 운전자에게 노출되는 소음에 관한 평가를 생리적평가와 주관적 평가를 실시하였다.

실험 결과로 45에서 55dB(A) 자동차 내부소음에서 beta파의 하향 안정성향과 alpha의 상향 유지성향이 공통적으로 관찰되었다. 이는 설문자료로부터 얻어낸 소음에 대한 주관적 성가심이 단순한 선형성에 가까운 것과는 차이를 볼 수 있었다.

주행 시에 인간에게 노출되는 소음 수준이 55dB(A)를 초과할 때는 소음 수준의 증가에 따라 beta파의 출현빈도의 수가 어느 정도 선형성을 가지고 증가하는 것을 볼 수 있었는데, 이는 소음수준에 대한 각성(불쾌감)을 뇌파의 beta파가 비교적 잘 반영하는 모수(parameter)인 것으로 추측되었다. 안정상태를 의미하는 alpha파의 경우 소음수준이 증가함에 따라 출현빈도가 감소하는 경향을 보였지만, 전반적으로 beta보다는 소음에 대한 민감도가 낮은 것으로 판단되었다.

뇌파의 연구에 있어서, 좌/우 뇌의 차이를 비교한 연구들이 많이 진행되어 왔는데, 혐오감을 유발하는 자극이 제시되었을 때, 우전두엽의 활동이 더 크고, 행복감을 유발하는 자극제시 시에는 좌전두엽의 활동이 더 크며, 안정상태에서 우전두엽의 활동이 우세한 집단이 쾌장면에 대해서 더욱 불쾌감을 느끼고, 반대로 안정상태 좌전두엽의 활동이 우세한 집단이 쾌장면에 대해서 더 크게 쾌감을 느낀다고 보고하였다[Davison et al, 1979]. 본 연구에서도 청각자극을 잘 대변한다는 측두엽에서, 좌반구의 T3 보다는 우반구의 T4가 더 소음수준에 따라 민감하게 반응한 것을 살펴볼 때, 뇌파가 단순히 정각자극에 의해 변화되었다고 하기보다는, 소음에 의한 불쾌감이 beta파의 출현을 추가적으로 유발시켰다고 판단할 수 있다. 이러한 결과는 측두엽이 소음에 뿐만 아니라, 전반적인 감성변화에 민감하게 반응한다는 기존의 관찰결과와도 일치한다고 볼 수 있다(Boucsein et. al., 2001).



## 5. 결 론

본 연구는 자동차의 운전시 인간에게 노출되는 소음에 관한 평가를 뇌파를 통하여 실시하고자 하였다. 이같은 연구결과는 추후 소음을 음압의 개념으로서 뿐 아니라, 감성자극의 원인으로 인식하고 보다 운전자의 감성을 고려한 고급화된 차량 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

추후 여성과 다양한 연령층의 사람, 구조기인 소음 및 진동, 장시간의 소음노출 등의 연구가 계속 이루어져야 할 것이며, 자동차 내부소음 발생원인별로 인간의 감성적 부하를 정량화하는 연구가 진행되어야 하겠다. 또한, 다양한 운전상황에 대한 결과가 Database로 구축된다면, 자동차 설계기준이나 안전성 실험의 중요한 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- 김응수 외3, “청각자극에 의한 쾌/불쾌 감성상태의 뇌파에 대한 바이스펙트럼 분석”, ‘98 한국감성과학회 연차 학술대회, pp176-182, 1998.
- 은희준, “소음방지 기술의 현황과 효과 한계”, 한국소음진동공학회지 제2권 제3호, pp153-160, 1992.
- 환경보전법, 소음/진동 규제, 제35조 소음방지 장치, 자동차 소음 허용기준 제작(조립 및 수입 포함)자동차, 1996.
- 황민철 외3, “감성과 뇌파와의 상관성에 대한연구”, ‘97 한국감성과학회 연차 학술대회, pp80-84, 1997.
- Boucsein K., Weniger, G., Mursch, K., Steinhoff, B. J., Irle, E., Amygdala lesion in temporal lobe epilepsy subjects impairs associative learning of emotional facial expressions, *Neuropsychologia*, 39, pp231-236, 2001.
- Brian Peacock, Postscript: Future challenges for automotive ergonomics, *Automotive Ergonomics*, Taylor & Francis., pp473-477, 1993.
- Broadbent, D., The current state of noise reseach: Reply to Poulton. *Psychological Bulletin*, 85, pp1052-1067, 1978.
- Brookhuis, K. A., Louwerens, J. W. & O’Hanlon, J. F., EEG energy-density spectra and driving performance under the influence of some antidepressant drugs, in J. F. O’Hanlon & J. J. de Gier(eds.), *Drugs and Driving*, (London: Taylor & Francis), pp. 213-221, 1986.
- Brookhuis, K. A., Ward, D. de, The use of psychophysiology to assess driver status, *Ergonomics*, 36, pp1099-1110, 1991.
- Davidson, R. J., Schwartz, G.E., Saron, C. & Bennett, J., “Frontal versus Parietal EEG Asymmetry During Positive and Negative Affect(abstract)”, *Psychophysiology*, 16, pp202-203, 1979.
- Horiguchi Akinori & Suetomi Takamasa, A Kansei Engineering approach to a driver/vehicle system, *Industrial Ergonomics*, 5, 1995.
- IPCS, Environmental Health Criteria 12 Noise, WHO, pp12-18. 1980.
- Jansen. G., Physiological effects of noise. In C. Harris(ed), *Handbook of noise control*. New York: Mcgraw-Hill, 25.1-25.19, 1991
- Kryter, K., *The effects of noise on man*(2d de.). Orlando, FL: Academic. 1985.
- Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. T., Recommendations for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment, *Human Factors*, 35(2), pp32-40, 1993.