

■ 연구논문

자동차 속도 변화에 따른 자율신경계의 반응 연구  
- A Study of Autonomic Responses due to  
Vehicular Speed Changes -

김철중\*  
Kim, Chul Jung  
민병찬\*  
Min, Byung Chan  
정순철\*  
Chung, Soon Cheol  
김상균\*  
Kim, Sang Gyun  
오지영\*  
Oh, Ji Young  
민병운\*  
Min, Byoung Woon  
김유나\*\*  
Kim, Yu Na

**Abstract**

We report on some of the preliminary results of the physiological responses resulting from vehicular speed changes. Healthy human subjects (n=5) were studied for the experiments. We measured the physiological responses of the subjects such as Heart Rate Variability (HRV), Galvanic Skin Response (GSR), and skin temperature for day and night vehicular speed change experiments, respectively. Before and after the tasks, we carried out a self-report for acquiring correlation with experiment results. Mean heart rate variability (HRV) and amplitude of GSR and skin temperature were calculated for 3 minutes duration in each state. The analysis of the physiological measures of ANS activity revealed that vehicle speed change-based affective state evoked arousal response pattern featured by HR acceleration, decrease of skin temperature, and increase of GSR amplitude. The obtained results show that despite some differences observed between each state, overall physiological responses show that the activity of the sympathetic nervous system increases as a result of the increase of speed.

---

\*한국표준과학연구원 인간공학연구실

\*\*배재대학교 물리학과

본 연구비는 과학기술부 G7 감성공학과제의 연구비 지원을 받아 수행되었음.  
(과제번호 : 17-01-03-A-01)

## 1. 서론

외부의 다양한 자극 또는 환경변화에 대해 인간 내부에서 발생하는 감성의 실체를 파악하고자 하는 많은 연구가 이루어져 왔다 [7,8,9,10,11,12,13,14,16,18,19,20]. 특히 객관적 감성평가를 위해 전기적 생리 신호를 측정하고 분석하고자 하는 연구가 근래에 많이 수행되고 있다. 감성은 쾌/불쾌 차원과 각성/이완 차원의 2차원으로 구성되어 있다. 뇌의 반응에서 극단감성의 변화에 대한 구분은 알파파의 상대 증가율이 중요한 변수로 등장했다. 알파파 상대출현량이 불쾌할 때보다 쾌할 때 증가하고 있고 편측성도 부정적일 때 심한 것으로 나타나있다 [6]. 각성/이완은 자율신경계 반응인 심박 변화율의 저주파 성분과 피부저항의 진폭과 상관관계를 보이고 있다 [2,4]. 그러므로 감성의 극단적 차원에서의 구분은 뇌파의 알파출현량과 편측성, 심박 변화율, 피부저항 변화에 찾을 수 있다. 그러나 감성의 세분 구분은 아직도 검증여지가 남아있다. 실험실에서 감성유발은 노이즈 없는 감성 생리적 데이터를 제공하는데에 중요한 역할을 하므로 지금까지는 연구자의 실험 목적에 맞도록 자극을 유발하기 위해 제한된 실험실에서 연구가 수행되어져 왔다 [2,3,4,6]. 근래에는 이러한 정적환경에서의 결과를 기반으로 해서 인간의 감성을 보다 자연스러운 상황에서 측정하기 위하여 여러 동적 환경에서 연구가 수행되고 있다. 즉, 운전 중 피로도 조사, 작업 부하에 따른 운전자의 피로도 연구, 도로 주행시 나타나는 운전자의 심리 생리 반응을 검지하기 위한 운전자 심리생리 반응 검지 차량의 구축, 실제 운전 상황에서 주변 도로 환경에 따른 운전자의 심리적 상태를 뇌파를 측정하여 분석하고자 하는 연구, 운전 상황과 도로 상황에 따른 자율신경계의 반응 연구 등의, 동적 환경에서의 생리 신호를 측정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1,5,15,17].

본 논문에서는 동적 환경 자극 중에서 특히 자동차 속도를 변화시키면서 탑승자의 감성을 측정하고자 하였다. 이러한 감성의 변화를 측정하기 위하여 그 동안 의학, 심리 분야 등에서 인체 생리변화의 지표로서 많이 사용되어온 생리 신호 중 동적 환경에서의 잡음이 심하지 않은 심박 변화율 (Heart Rate Variability: HRV), 피부저항 (Galvanic Skin Response: GSR), 피부온도 (skin temperature)를 측정하였다. 자율신경계의 활동을 반영하는 심박 변화율의 분석은 심전도로부터 R파를 검출하여 평균 심박수를 계산하였다. 피부저항은 교감신경계와 부교감신경계의 작용에 의하여 피부의 부위에 따라 다른 작용을 하는 Electro Dermal Activity (EDA)의 일종으로 이를 통해 EDA의 변화가 자율신경계의 활성화에 대한 척도로 이용될 수 있으므로 이를 이용하여 각성/이완상태의 변화에 따른 생리 변화를 측정하고자 하였다 [2]. 피부온도의 변화 역시 자율신경계의 반응지표로 이용하였다.

## 2. 실험 방법

실험은 뇌 질환이나 기타 정신질환으로 인해 치료를 받은 적이 없는 5명의 정상인 (연령:21-29)을 대상으로 이루어 졌다. 피험자는 실험 전에 실험에 대한 간단한 설명과 움직이지 말 것, 편안한 마음가짐을 가질 것 등의 주의사항을 듣고, 전극을 부착하였다 (그림 1참조). 실험 전 안정 상태일 때 피험자의 쾌/불쾌도와 긴장/이완을 묻는 주관적 평가를 실시하였고, 실험 후 (120km/h 주행 후)에도 역시 주관적 평가를 실시하여 실험 전후를 비교하였다.

차량 내부의 온도와 습도는 THERMO / HYGROMETER (MODEL SK-90TRH)를 이용하여 피험자의 어깨 위치에서 1분단위로 측정하였고 차내의 에어컨과 항온 시설을 이용하여 차량 내부의 상태를 일정하게 유지하도록 하였다. 여러 상황을 제시했을 때 대부분의 피험자들이 차량 내부의 여러 condition중 가장 쾌적한 느낌을 받는다고 대답한 상태 (Dry temperature/ Wet temperature / Relative Humidity = 25 ~ 26℃ / 17 ~ 18℃ / 40-50 %)에서 모든 실험이 수행되었다. 피험자는 운전석 옆 조수석에 편안한 자세를 취할 수 있도록 위치하였고 전방을 주시하도록 하였다. 측정 장비는 Biopac System의 Biopac MP100을 이용하였고, 생리 신호는 ECG 1 channel (lead II), Skin Temperature 1 channel (왼손 중지), GSR 1 channel (왼손 검지와 중지)를 각각 측정하였다 (그림1 참조). 모든 생리신호의 sampling rate는 1500Hz로 설정하였다. 차량 진동에 의한 잡음을 최소화하기 위해 그림1과 같이 고정 틀을 제작하여 측정 장비를 고정시켰고, 모든 증폭기는 차량 본체에 접지 시켰다.

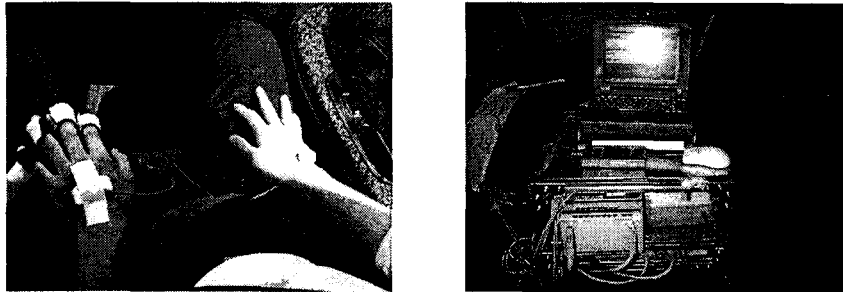


그림 1. 차량 실험을 위한 피험자의 전극 부착 모습과 Biopac MP100 측정 장비 장치

### 2-1. 실험 과정

속도 변화에 따른 생리 신호를 측정하기 위하여 0, 30, 60 km/h의 속도 변화는 경주보문단지내의 일반도로를 이용하였고, 90, 120 km/h의 속도 변화는 영천~경주간 경부고속도로를 운행하도록 하였다 (그림 2 참조). 실험 수행 시 발생하는 문제점 (일반 도로에서 90, 120 km/h의 속도 주행은 위험하여 고속도로에서 수행하였고, 고속도로에서는 0, 30, 60 km/h의 속도 주행이 위험 상황을 초래할 수 있으므로 저속 주행은 일반도로에서 수행되었다)으로 모든 속도 변화 실험을 동일한 구간에서 수행할 수 없었다. 그러므로 실험 장소에 따른 시각적 환경의 차이에 따른 감성 변화가 발생할 수 있지만, 이를 가능한 배제하기 위하여 피험자에게 속도의 변화에만 집중을 하도록 요구하였다. 또한 차량내부는 주행 소음(60dB이하)을 제외한 어떠한 청각적인 자극도 배제토록 했다. 교통상황에 따른 감성 변화 요인을 최소화하기 위하여 데이터 수집은 각각 일반도로와 고속도로의 동일한 직선구간에서 이루어졌으며 주행시 차선의 변경을 금지시켰다. 실험은 아래의 순서대로 교통량이 적은 시간대 (낮 PM 2~3시, 밤PM 8시~9시)에서 두 차례 수행하였고 생리 신호는 각각의 상태에서 3분간 측정되었다.

- ① 0km/h (정차한 상태에서 생리신호 측정, Reference Signal)
- ② 30km/h로 정속 주행하면서 생리신호 측정
- ③ 60km/h로 정속 주행하면서 생리신호 측정
- ④ 90km/h로 정속 주행하면서 생리신호 측정
- ⑤ 120km/h로 정속 주행하면서 생리신호 측정

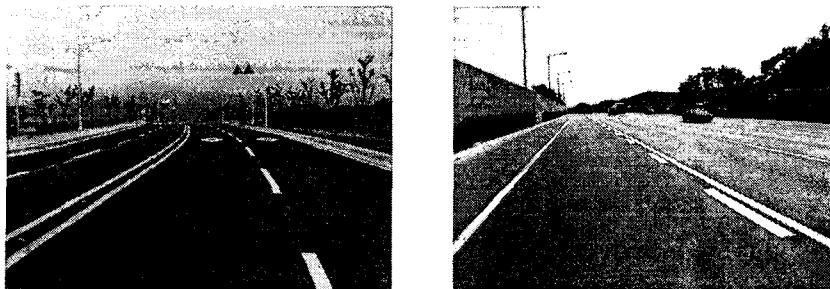


그림 2. 속도 실험이 수행되어진 경주보문단지내의 일반도로와 영천~경주간 경부고속도로 사진

2-2. 주관적 평가

본 연구팀이 여러 정적 환경에서 감성을 2개의 차원을 중심으로 평가하기 위해 일반적으로 사용해왔던 10개의 문항으로 구성된 주관적 평가지를 이용하여 실험 전 안정 상태와, 120km/h로 정속 주행 후 2회 실시하였다 [2]. 이중 5문항은 ‘행복하다 - 불행하다’, ‘흡족하다 - 짜증나다’, ‘만족스럽다 - 불만족스럽다’, ‘흐릿하다 - 우울하다’, ‘희망적이다 - 절망적이다’와 같은 쾌/불쾌 차원과 관련된 형용사이고, 나머지 5문항은 ‘자극된다 - 긴장이 풀린다’, ‘들뜬다 - 차분하다’, ‘열광된다 - 활기가 없다’, ‘신경이 곤두선다 - 무감각하다’, ‘각성된다 - 전혀 각성되지 않는다’와 같은 각성/이완차원과 관련된 형용사이다. 가장 쾌 또는 각성되었을 때 (5점), 가장 불쾌 또는 이완되었을 때 (1점)의 5점 척도로 주관적 감성을 평정하도록 하였다.

2-3 신호 분석

심전도에서 R포인트를 1차 미분에 의한 zero-crossing 방법을 사용하여 검출하였다. 검출된 R포인트로부터 각 실험상황에서 3분 동안의 평균 R-R 간격을 계산하였다. 또한 검출된 R포인트로부터 R-R 간격시리즈를 구하고, 5Hz의 동시간 간격으로 재샘플링을 하였다. 피부 온도와 피부 저항의 분석은 각 실험 환경에서 3분 동안 신호 진폭의 평균과 표준편차를 계산하여 비교 분석하였다. 5명의 피험자에 대해 각 실험마다 1회씩 측정하여 5개의 데이터 셀을 획득하였다. 각 생리신호 분석결과를 아래와 같은 식(1)을 이용하여 normalized sensitivity (NS)를 구하였다 [2].

$$NS (\%) = | 자극 - 무자극 | / 무자극 \times 100 \tag{1}$$

3. 실험 결과

주관적 평가는 안정 상태에서 자극이 제시되었을 때의 감성차이를 비교하는 것으로 t-test 분석법을 사용하였으며, program은 SPSS 7.5를 사용하였다. 그 결과 그림 3에 보이듯이 안정에 비해 120km/h의 속도로 주행 후 피험자는 낮과 밤 모두 긴장되었다는 주관적 평정을 하였다 (\*\*p<0.01). 쾌 또는 불쾌의 감성변화는 안정일 때에 비해 120km/h의 속도로 주행 후 낮과 밤 모두 쾌도가 증가하였지만 낮일 때만 통계적으로 유의한 차이가 있었다 (\*p<0.05). 이것은 고속 주행시 피험자가 불안감을 느껴 불쾌한 감성을 느낄 것이라는 예상과는 다른 결과로 피험자 선택에 있어서 연령의 파라미터가 젊은 사람으로 편중되어 발생하지 않았나 고려되어진다.

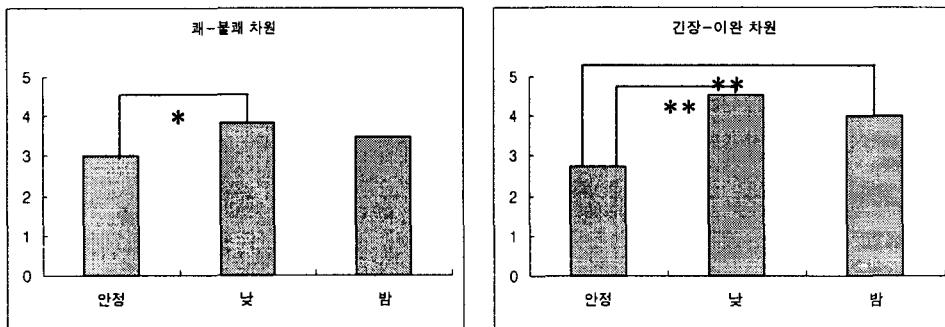


그림 3. 주관적 평가결과 \*\*p<0.01, \*p<0.05

생리 신호의 결과들 역시 속도가 증가할수록 상대적인 교감 신경계의 활동도가 증가함을 알 수 있었다. 각 생리신호별로 안정에 비해 속도변화에 따른 Normalized Sensitivity의 결과를 표1에 나타내었다. 속도 증가에 따라 R-R 간격은 좁아지고, GSR은 증가하며, 피부온도는 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 안정에 대한 상대적인 변화량을 계산한 NS는 속도증가에 따라 증가하였는데 이는 속도증가에 따라 각 생리신호들의 변화량도 커짐을 의미한다.

표 1. 속도변화에 따른 각 생리신호의 Normalized Sensitivity

속도	R-R Interval		GSR		Skin Temperature	
	낮	밤	낮	밤	낮	밤
30	2.67	2.14	11.0	4.54	4.05	15.7
60	3.70	3.27	27.2	21.8	2.16	35.0
90	5.58	3.93	41.9	37.5	20.8	31.1
120	7.48	6.59	61.7	50.7	30.7	40.6

(단위 : %)

그림 4는 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 평균 R-R 간격으로 속도가 증가할수록 평균 R-R 간격은 좁아진다. 낮인 경우 안정에 비해 주행시 모두 유의하게 R-R 간격은 좁아졌지만 밤인 경우는 90km/h와 120km/h 주행했을 때만 유의하게 R-R 간격의 감소를 관찰할 수 있었다 (\*\*p<0.01, \*p<0.05).

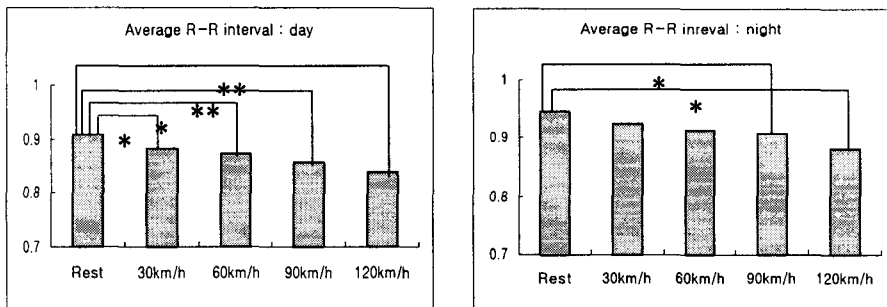


그림 4. 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 평균 R-R 간격 \*\*p<0.01, \*p<0.05

그림 5는 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 피부 저항 진폭의 평균이다. 낮, 밤 모두 속도의 증가에 따라 GSR의 평균 진폭은 증가하였지만 모두 90km/h와 120km/h로 주행했을 때만 유의하였다 (\*p<0.05).

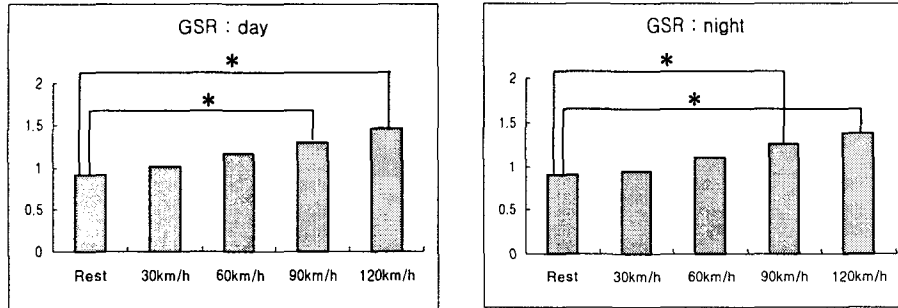


그림 5. 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 피부 저항의 변화 \* $p < 0.05$

그림 6은 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 체온 변화의 결과를 보여준다. 낮, 밤 모두 속도의 증가에 따라 체온은 감소하였지만 낮인 경우 90km/h와 120km/h로 주행했을 때, 밤은 120km/h로 주행했을 때만 유의하였다 (\* $p < 0.05$ ). 속도의 증가에 따라 체온이 감소하는 경향을 관찰 할 수 있었는데 이는 긴장시 교감 신경계의 활동으로 말초 혈관을 수축시켜 혈액 공급량을 줄이게 함으로서 일어나는 현상이다.

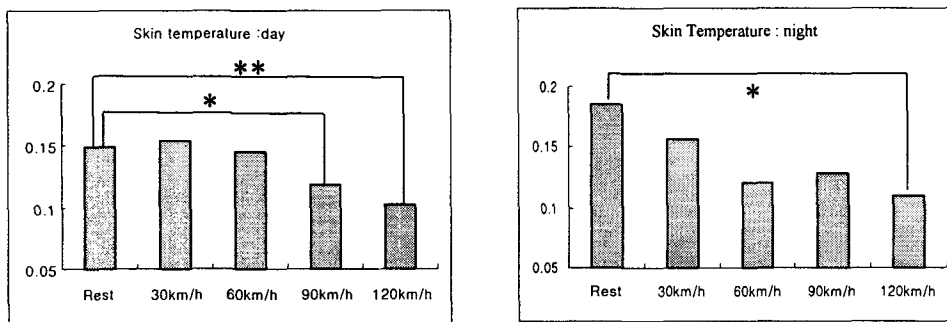


그림 6. 낮과 밤 각각의 경우 속도변화에 따른 체온 변화의 결과 \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$

#### 4. 결론 및 토의

생리적 반응에 의한 감성평가는 개인차 및 감성의 동적 특성(시간에 따른 감성변화)에 따라 변화하기 때문에 일반적인 경향을 추출하기 어렵다. 그러므로 지금까지는 주로 연구자의 실험 목적에 맞도록 자극을 유발하기 위해 제한된 실험실에서 연구가 수행되었고 이러한 결과는 노이즈 없는 감성 생리적 데이터를 제공하는데 중요한 역할을 하였다. 근래에는

이러한 정적환경의 결과를 바탕으로 인간의 감성을 보다 자연스러운 상황에서 측정하기 위하여, 동적 환경에서 감성 변화에 따른 생리 신호를 측정하기 위한 연구가 시작되었다. 본 논문에서는 동적 환경 자극 중에서 특히 자동차 속도를 변화시키면서 탑승자의 감성을 측정하고자 하였다.

심박 변화율, 피부저항, 피부온도의 생리 신호를 측정하고 주관적인 평가를 함께 하여 동적 환경, 특히 속도 변화에 따른 차량 주행 환경에서 쾌/불쾌, 긴장/이완의 감성 변수를 측정하였다. 속도 변화는 각각 정차 (0km/h), 30km/h, 60km/h, 90km/h, 120km/h로 제시하였다. 주관적 평가는 속도 변화 실험 전 (0km/h)과 120km/h 주행 후에 실시하였고, 결과는 120km/h의 속도로 주행 후 긴장했다는 일관된 주관적 평가를 하였다. 모든 생리 신호 (심박 변화율, 피부저항, 피부온도)는 속도가 증가할수록 교감 신경계가 활성화된다는 결과를 보여 주었다. 그리고 안정에 비해 120km/h 주행 시 생리 신호의 변화량이 가장 컸고 이는 주관적 평가의 결과와 비교하여 긴장감의 증가에 의해서 교감 신경계의 활성화가 증가하였다는 것을 반영한다.

낮일 때 평균 R-R 간격을 제외하고 나머지 생리신호는 90km/h, 120km/h와 같이 고속주행에서만 통계적인 유의도가 관찰되었다. 이것은 저속주행에서 피험자가 긴장감을 느끼지 못했거나 또는 동환경 잡음으로 인해 미세한 생리신호 변화를 추출하지 못했기 때문일 것이다. 그러므로 향후 통계적인 신뢰도를 가질 수 있도록 피험자 수를 충분히 늘리고, 모든 속도에 대해 주관적 평가를 실시하여야 하고, 또한 동환경 잡음을 최소화 할 수 있는 방법을 개발하는 것이 필수적이다. 피험자들은 밤에 비해 낮일 때 보다 긴장했다는 주관적 평가를 하였고 R-R 간격과 GSR의 생리신호 변화 역시 낮일 때가 변화량이 컸다. 속도 감각은 주로 차량의 진동이나 소음에 의해 느껴지기도 하지만 주로 시각적인 요소가 클 것으로 생각된다. 전반적으로 같은 속력이라도 낮인 경우 피험자는 좀 더 긴장을 하였고 이것은 밤에 비해 낮일 때 시각적인 속도감각을 보다 확실히 느끼기 때문에 발생하지 않았나 생각된다.

본 연구를 수행하면서 여러 문제점을 발견할 수 있었다. 먼저 실험자의 목적에 맞는 동적 실험 상황을 정확히 제시하는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 속도 변화를 동일한 도로에서 수행하지 못하였고, 또한 교통상황이나 실내 소음 등의 상황을 엄격히 동일하게 통제하였다고는 할 수 없다. 그러므로 향후 동적 상황에서의 감성 평가의 정확성은 실험 목적에

부합하도록 동적 상황을 얼마나 엄격하게 통제하느냐가 가장 중요한 요소가 될 것이다. 또한 속도 변화에 따른 탑승자의 생리신호를 측정하기 위해 많은 전극을 신체에 부착하였고 이로 인해 피험자는 불편함을 느꼈다. 앞으로 이러한 불편함을 제거할 수 있는 방법의 개발이 이루어져야 할 것이다. 주관적 평가를 위한 형용사군의 선택도 신중히 고려해야 할 사항이다. 정적 환경에 비해서 동적 환경은 실험자가 예상하지 못한 여러 파라미터가 있을 수 있고 이러한 파라미터들 중에서 실험자가 의도한 결과를 추출하기 위해서는 정적 환경에 비해 동적 환경에 적절한 형용사들의 선택도 신중히 고려해야 할 요소이다.

이러한 여러 문제점에도 불구하고 본 연구를 통해 속도변화에 따른 전반적인 각성/이완의 감성변수를 생리 신호의 분석과 주관적 평가를 통해 추출할 수 있었고, 이는 앞으로 다양한 동적 환경에서 감성변화를 측정 할 수 있다는 가능성을 시사한다. 향후 감성의 2개의 차원 중의 하나인 쾌/불쾌를 유발할 수 있는 동적 환경 제시에 대한 연구도 뒤따라야 할 것이다. 이를 위해서는 중추 신경계의 변화를 관찰할 수 있는 뇌파의 측정도 필수적이라고 생각한다. 그러나 동적 환경에서 잡음의 영향이 클 것으로 생각되어지는 뇌파와 근전도 신호의 분석을 위해서는 먼저 잡음 패턴의 분석을 통한 잡음제거 시스템의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 이러한 1차원적인 감성자극 뿐만 아니라 2차원적인 동적 감성 자극인 복합 감각 자극에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 김정룡, 이돈규, 윤상영, 곽종선; "고속도로의 직선 구간별 운전자 생리 반응 분석", 대한인간공학회 1999년 춘계학술대회 논문집, pp. 7-10, 1999.
- [2] 김철중; "종합적 생리신호 측정, 해석 시스템 개발 최종 보고서", 한국표준과학연구원 1998.
- [3] 민병찬, 박세진, 김철중, Masashi Wada; "Chemosensory-Event-Related Potentials to Olfactory Stimulations", 감성과학, 1(2): 113-118, 1998.
- [4] 손진훈, Estate M. Sokhadze, 이임갑, 이경화, 최상섭; "정서시각자극에 의해 유발된 자율신경계 반응패턴: 유발정서에 따른 피부전도반응, 심박률 및 호흡률 변화", 감성과학, 1(1): 79-90, 1998.
- [5] 장명순, 김정룡, 윤상영, 곽종선, 이돈규, 김창모, 고종대; "자동차 주행 환경에 따른 운전자 심리 생리 반응 검지 차량 구축", 대한인간공학회 1999년 춘계학술대회 논문집, pp. 82-85, 1999.
- [6] 황민철, 유은경, 김철중; "시각 감성 변화의 뇌파 특성", 대한인간공학회 1997년 추계학술대회 논문집, pp. 468-472, 1997.
- [7] Amir, A.; "Uniqueness of the Generators of Brain Evoked Potential Maps," IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-41, 1-11, 1994.
- [8] Andreassi, J. L.; Psychophysiology; human behavior & physiological response, Lawrence Erlbaum Assoc, Hillsdale, 1989.
- [9] Armitage, R., Roffwarg, H.P., Rush, A. J.; "Digital Period analysis of EEG in depression", Prog. Neuro-Psychopharmacol. & Biol.Psychiat. 17: 363-372, 1993.
- [10] Carlson, N. R.; Physiology of Behavior, Allyn and Bacon, Boston, 1994.
- [11] Ekman, P., Levenson, R. W., Friesen, W.V.; "Autonomic nervous system activity distinguished between emotions", Science, 221: 1208-1210, 1983.
- [12] Field, T., Woodson, R., Greenberg, R., Cohen, D.; "Discrimination and imitation of facial expressions in neonates", Science, 218: 179-181, 1982.
- [13] Hohman, G. W.; "Source effect of spinal cord latence on experienced emotional feelings", Psychophysiology, 3: 143-156, 1966.
- [14] Kolb, B., Whishaw, I. Q.; Fundamentals of human neuropsychology, Freeman and company, New York, 1990.
- [15] Laurence Hartley; Fatigue & Driving, Taylor & Francis, 1995.
- [16] Levenson, R.W., Ekman, P., Friesen, W. V.; "Voluntary facial action generate emotion-specific autonomic nervous system activity", Psychophysiology, 27: 363-384, 1990.
- [17] Nicholas McDonald; Fatigue, Safety and the Truck Driver, Taylor & Francis, London and Philadelphia, 1984.
- [18] Plonsey, R; Bioelectric Phenomena, Mcgraw-Hill, Inc., New York, 1969.
- [19] Richard Srebro, Rose M. Oguz, Keith Hughlett, Philip D. Purdy; "Estimating Regional Activity from Evoked Potential Fields on the Scalp", IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-40, 509-516, 1993.
- [20] Wikswo, Jr. J. P., Gevins, A., Williamson, S. J.; "The future of the EEG and MEG", Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 87: 1-9, 1993.