Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.203-211, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.203

생체신호 측정을 통한 운전자의 감정적 안정상태 평가

김정룡 · 박지수 · 윤상영

한양대학교 산업경영공학과

Assessment of Driver's Emotional Stability by Using Bio-signals

Jung Yong Kim, Ji Soo Park, Sang Young Yoon

Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to introduce a methodology to assess driver's emotion stability by using bio-signals. **Background:** Psychophysiological analysis of driver's behavior has been conducted to improve the driving safety and comfort. However, the variability of bio-signal and individual difference made it difficult to assess the psychophysiological status of drivers that can be expressed as emotional stability of drivers. **Method:** Two experimental studies were reviewed and summarized. New techniques assessing emotional stability of drivers were explained. Statistical concept and multi-dimensional space were used to identify the emotionally stable conditions. **Conclusion:** Psychophysiological approach can provide information of driver's emotional status. The experimental methodology and algorithm used in this study showed the possibility of parameterization of psychophysiological response. **Application:** Currently measured statistical and geometrical data can be further applied to develop an interactive device monitoring and reacting driver's emotion when driver experiences emotionally unstable or uncomfortable situation.

Keywords: Bio-signals, Emotional stability, Drivers, Highway driving, Normative range, Multidimensional space

1. Introduction

한국자동차공업협회에 따르면 국내 자동차 등록대수는 2001년 1291만대에서 2007년 1642만대로 증가했다. 운전인구의 증가와 자동차 보급률의 지속적인 증가로 인하여 2010년 11월 기준 국내 자동차 보유대수는 1792만대에 이르고 있다(Korea Automobile Manufacturers Association, 2010). 자동차 보유대수의 증가와 더불어 차량으로 인한 사고율도 증가하고 있다.

자동차의 사용으로 인한 사고는 장시간의 운전으로 인한 피로 또는 위험한 상황에 놓이거나 운전환경에서의 외부 자극으로 인한 운전자의 판단 실수로 발생하고 있다. 특히, 운전중 발생할 수 있는 운전자 요인(human factor)은 도로나 자동차 요인과 함께 교통사고를 발생시키는 중요한 원인으로 인식되고 있다. 이러한 운전자 요인은 운전 중 행동반응이나 생리신호를 추출하여 분석하고 있다.

운전자의 행동반응이나 생리신호는 뇌전도(electroencephalogram; EEG), 심박수(heart rate; HR), 피부전기저항(galvanic skin resistance), 말초혈관반응(peripheral

Corresponding Author: Ji Soo Park. Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791.
E-mail: jspark21@hanyang.ac.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

plethysmograph; PPG), 피부온도(skin temperature; SKT), 눈깜빡임, 안구운동(electrooculogram; EOG) 등을 측정하여 분석하는 연구가 이루어져 왔다(Brookhuis and Waard, 1993; Kecklund and Akersted, 1993; Waard *et al.*, 1995; Gundel *et al.*, 1995; Milosevic, 1997; Richter *et al.*, 1998; Gobel *et al.*, 1998).

국외에서는 Helander(1975)와 Brookhuis and Waard (1993)가 주행중인 차량의 운전자에게 각종 생리신호 측정 장비를 부착하고 생리반응을 측정하고 분석하려는 시도를 하였다. 이 연구는 생리신호의 강도를 측정하여 분석하는데 초점이 맞추어져 있고 운전 중 발생할 수 있는 인적 요인을 객관적으로 분석하기에는 한계가 있었다. Kecklund and Akersted(1993), Brookhuis and Waard(1993), Grundel *et al.*(1995)는 운전자의 뇌파(EEG)를 측정하여 운전자의 각성, 졸리움과 피로도를 측정하고자 하였으며, O'Hanlon and Kelly(1977)은 야간 운전 중 운전자의 심박율 변화를 측정하였고, Richer *et al.*(1998)는 운전자의 눈깜빡임을 측정하여 운전 중 발생되는 정신부하, 도로환경의 변화, 운전 지속시간 등의 변화에 반응하는 정도를 연구하였다. Tara *et al.*(2003)은 운전환경이 심박수와 혈압(blood pressure), 피부저항(skin conductance) 수준을 변화시킨다고 하였다.

국내연구로는 더운 여름철이나 계속된 운전으로 인한 피로로 졸음이나 긴장이 완화된다고 하였다. 이러한 경우 위험한 상황에 대한 인식이 둔해지고 속도에 대한 판단이 힘들어져 교통사고로 이어지는 경우가 높다고 하였다(Lee, 2001). Kim and Yoon (2004a, 2004b), Kim *et al.*(2004b)의 연구에서 운전자의 심리, 생리적 반응을 뇌파, 피부저항, 피부온도, 안구운동에 대한 연구를 수행하여 생체신호를 분석하는 파라메터(parameter)를 분류하고 운전상황에 따른 진단모델을 개발하였다. 또한, 차량의 속도에 따른 심박율(heart rate ratio), 피부저항, 피부온도를 측정하여 자율신경계 반응의 변화가 발생한다고 하였다. Bea *et al.*(2008)은 돌발상황에 따른 연령별 운전자의 생리반응을 측정하여 주변환경과 연령과의 상호연관성이 있는 변수를 찾아내고자 하였다. Lee *et al.*(2010)은 교차로 상황일 때 고령운전자의 뇌파(EEG)를 측정 및 분석하여 교차로 진입시와 황색신호시에 각성적 반응이 증가한다고 하였다. 이러한 연구들은 운전상황에 따른 생리신호의 변화가 운전자의 상태를 객관적이고 정량적으로 표현해 줄 수 있는 가능성을 제시하였다.

많은 연구자들과 자동차 제조업체들은 운전자 생리신호 분석을 통하여 운전환경의 개선과 사고율을 줄이기 위한 여러 가지 방법을 모색하고 있다. 하지만, 운전상황 시 측정된 생리신호들은 변산성(variability)이 크기 때문에 기존의 기술통계적인 분석방법으로 해석하기에는 부적합한 특징을 가지고 있다. 또한, 사용되는 생체신호 변수들의 제어방법이나 정량화 방법은 실험실 상황인지, 실제상황인지에 따라 그 차이가 크다고 하였다(Kim *et al.*, 2004b).

본 연구에서는 실제 운전상황에서의 운전자의 생리반응을 통하여 운전자의 감성을 측정 분석하는 방법 살펴보고, 기존 분석의 단점을 보완할 수 있는 방법을 살펴보고자 하였다. 이를 통하여 실제 운전상황에서 얻어질 수 있는 운전자의 감성생리반응(psycho-physiological response)을 정확하게 이해하고, 안전하고 쾌적한 운전상황을 구현할 수 있는 방법을 살펴보고자 하였다.

2. Parameters to Measure Emotional Variability

운전자의 생리신호의 변화는 다양한 방법으로 측정되어 왔다. 또한, 측정된 생리신호를 분석하여 감성을 평가하는 방법도 다양하게 사용되어 왔다. 생리신호를 측정한 감성평가는 일반적으로 기술통계량을 계산하여 분석하는 방법이 사용되고 있으나 생리신호의 변산성(variability)으로 인하여 감성평가의 한계점이 나타나고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2004b). 따라서, 기존에 사용하던 기술통계량을 이용한 생리신호 분석방법의 한계를 보완하기 위한 방법에 대하여 살펴보고, 어떻게 적용할 수 있는가에 대한 방법론을 사례를 통하여 보았다.

운전자의 생리신호를 생리신호가 발원되는 해부학적 위치에 따라 중추신경계(central nervous system)와 말초신경계(peripheral nervous system) 신호로 분류하고, 어떠한 파라메터로 측정할 수 있는지 정리하여 보았다.

2.1 Parameters that can be derived from central nervous system

뇌파는 중추신경계로부터 측정할 수 있는 대표적인 신호이다. 뇌파신호는 자극이 제시될 때 발생되는 머리부위의 신경전도를 전극을 통하여 측정하는 것으로, 국제 전극배치법인 10/20 전극배치법을 주로 사용하고 있다(Papanicolaou *et al.*, 1998). 뇌파측정기를 통해 측정된 뇌파(raw signal)는 power spectrum을 분석하기 위하여 FFT(fast fourier transformation)를 이용하여 변환한 후 주파수 별로 분류한다. 뇌파는 주파수 범위에 따라 세타(θ)파 (3~7Hz), 알파(α)파 (8~12Hz), 베타(β)파 (13~30Hz)로 분류하고 있다(Coutin-Churchman *et al.*, 2003).

뇌파를 이용하여 감성을 측정하고자 하는 연구들이 많이 진행되었으며, 주로 기술통계량을 이용한 통계 분석을 이용

하여 실험조건에 따라 나타나는 뇌파의 반응을 측정하고자 하였다. 뇌파를 이용하여 감성을 측정하는데 사용되었던 대표적인 파라메터를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. The pattern of parameters measured from central nervous system

Parameters	Lobe	Conditions	Patterns
Theta wave	Frontal, occipital	Sleepiness, boredom, memory load	Increase
Alpha wave	Frontal	Relax	Increase
Beta wave	Frontal, temporal	Alert, arousal, excited	Increase
Beta/alpha	Frontal, occipital	Increased mental workload	Increase
(alpha+theta)/ beta	Temporal, parietal, central	Awakening	Decrease

Table 1의 파라메터들은 운전상황이 제시될 때, 머리부위에서 측정되는 신호를 스펙트럼 분석을 통하여 추출하여 파라메터들의 변화를 확인하여 감성을 평가한다. 예를 들어, 졸립거나 지루한 상황에서는 전두엽(frontal)과 후두엽(occipital)에서 theta파가 증가하는 경향을 나타낸다. 하지만, 기억부하가 증가하는 경우에도 theta파가 증가하는 경향이 나타난다. 따라서, 파라메터의 특징을 올바르게 이해하고 사용하지 않으면 부적절한 해석을 할 수도 있는 한계를 가지고 있다.

2.2 Parameters that can be derived from peripheral nervous system

말초신경계는 체성신경계(somatic nervous system)와 자율신경계(autonomic nervous system)로 분류된다. 체성신경계는 운동과 감각에 관련된 신경계를 말하며, 골격근이나 피부의 감각에 작용한다(Ministry of Education, Science and Technology, 1998). 체성신경계의 반응은 주로 근전도(electromyography; EMG), 안구운동(electrooculogram; EOG)을 사용하여 측정한다. 자율신경계는 소화, 호흡, 땀 같이 자발적으로 제어할 수 없는 기능에 관여하고 있다. 자율신경계 반응은 심박수(heart rate; HR), 심박수 변동(heart rate variability; HRV), 말초혈관반응(peripheral plethysmograph; PPG), 피부전기반응(galvanic skin response; GSR), 피부온도(skin temperature; SKT) 등으로 측정할 수 있다. 말초신경계 반응을 이용하여 감성을 측정할 수 있는 파라메터들을 Table 2에 분류하였다.

Table 2의 생리신호 파라메터들은 기술통계량 분석에서 사용하던 평균값 비교와는 다르게 생리신호의 시계열(time series) 변화를 관찰하여 특정 구간에서의 생리신호 패턴의 변화를 이용하여 감성을 평가하는 방법을 정리하였다. 이 방법은 특정 시점의 평균과 분산값을 사용하는 기존의 방법에 비해 보다 일관된 결과를 얻을 수 있어 추후 다양한 생리신호 연구에 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 예를 들어, 운전상황에서 작업부하가 높거나 주의 집중을 필요로 하는 경우에 심박수(HR)와 피부전기반응(GSR)이 증가하고, 말초혈관반응(PPG), 피부온도(SKT), 안구운동(eye movement)이 감소하는 패턴이 나타난다.

하지만, 기존 연구들에서 대부분의 말초신경계 생리신호 파라메터들이 운전자들의 감성생리반응을 민감하게 반영하지만, 피부온도(SKT)는 부분적으로 반영하기도 한다고 하였다(Kim *et al.*, 2004b). 또한, 피부전기반응(GSR)의 경우도 동적 운전환경에서 감성반응의 차이가 발생하지 않는 경우가 발생한다고 하였고, 계속되는 자극에 대해 민감도가 떨어지고 개인차가 크다고 하였다(Chung *et al.*, 1999). 따라서, 생리신호 파라메터의 변화를 사용하여 감성을 평가하는 경우에는 한 가지 파라메터를 사용한 평가보다는 두 가지 이상의 파라메터를 사용하여 그 상호작용을 고려하여 평가하는 것이 더 정확한 평가방법으로 제안된다고 할 수 있다.

Table 2. The pattern of parameters measured from peripheral nervous system

Parameters	Conditions	Outcomes
HR	Increased workload, exciting, require attention	Increase
HRV	Tension	Decrease
PPG	Tension, attentive	Decrease
GSR	Tension, attentive, awakening	Increase
SKT	Tension, attentive, awakening	Decrease
Eye movement	Increased workload, awakening	Decrease
Eye blink	Boredom	Decrease

3. Methodology Assessing Emotional Stability

3.1 Use of normative range

3.1.1 Experiment

실제 도로주행에서 얻어진 운전자의 심리생리적 반응에 대한 분석을 실시하고(Figure 1), 운전자의 심리생리상태를 평가할 수 있는 파라메터(parameters)를 찾기 위해 현장

실험을 실시하였다.

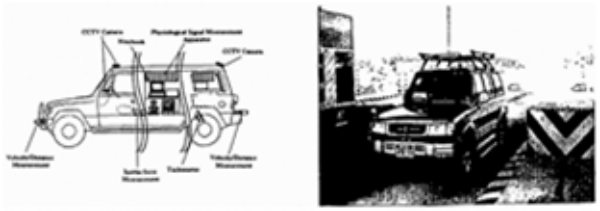


Figure 1. Experimental vehicle for highway driving (adapted from Korea Institute of Construction Technology, 2002)

실험지역은 과거 사고발생건수와 고속도로의 지형을 기준으로 운전자 정신부하요구(workload demand) 정도에 따라 3단계(high, moderate, low)로 구분되었다. 도로의 환경이 운전자의 감정 변화에 영향을 미치면 안전운전에 운전에 영향을 미쳐 위험한 상황이 발생할 수 있다는 가정 아래, 사고발생빈도가 연 평균 5건 이상 발생하고 도로의 구배(road slope)가 있는 곳을 운전자 정신부하요구가 가장 높은(high demand) 지역으로 선정하였다. 운전자 정신부하요구가 중간인(moderate demand)지역은 사고발생빈도가 연 평균 5건 이하이고 도로 구배가 조금 있는 지역으로 선정하였으며, 가장 낮은(low demand) 지역은 사고 기록이 없으며, 5km 정도의 직선구간에 포함되는 지역으로 선정하였다.

뇌파는 스펙트럼 분석 후 정규화 과정을 통해 분석하였다. 정규화된 생체신호를 50초 동안 10초 간격으로 구분하고, 50초 동안의 변화를 기울기(slope)로 계산하여(Equation 1), 시간 변화에 따른 생체신호의 변화 경향으로 정의하였다(Figure 2).

$$\text{주어진 구간 내에서의 기울기} = \sum_{i}^{n} \frac{X_i}{Y_i} \quad \text{Equation 1.}$$

여기에서, i = 세부 분석구간

n = 분석하려는 세부구간의 셀 수

X_i = 시간의 변화

Y_i = 생체신호의 변화 크기

단, 감소율의 경우 (−) 값으로 계산한다.

파라메터의 변화를 기울기(slope)로 나타내는 것은 파라메터의 순간적 크기(instantaneous amplitude)를 측정할 때 발생하는 신호의 변산성의 영향을 최소화하고 50초간의 경향성(increase or decrease trend)을 판단함으로써 신호의 의미의 정확성(validity)를 증대시키기 위한 것이다. 기존 연구에서 정신부하에 따른 신호 변화를 보이는 파라메터 중 비교적 일관된 결과를 보이는 변수는 Table 3에 요약하였다.

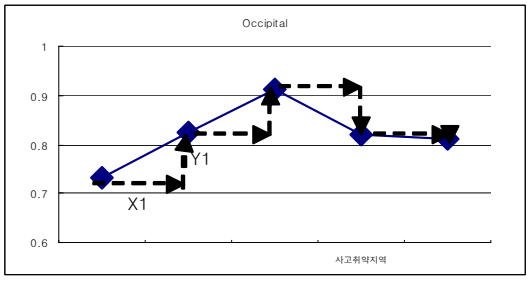


Figure 2. The slope of parameters at driving situation

Table 3. Parameters of bio-signals with consistent pattern

Measuring site		Slope parameter
Frontal lobe	left	α, θ, $(\theta+\alpha)/\beta$, β/α
	right	–
Central lobe		–
Parietal lobe		θ
Occipital lobe		β/α

3.1.2 Assessment of emotional stability

감정적 안정상태의 결정과정은 다음 단계에 따라 진행되었다.

단계1 – 파라메터를 선별

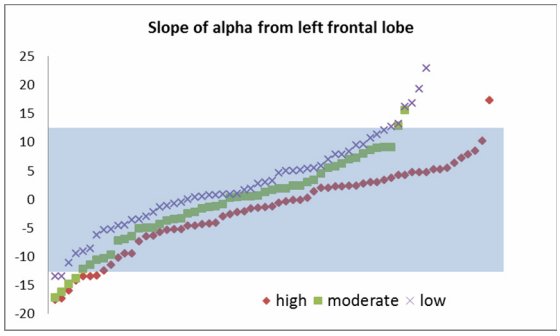
측정된 파라메터 중, 부위 별로 정신부하요구가 증가함에 따라 뇌파의 평균값이 지속적으로 증가하거나 감소하는 변화 패턴이 Table 1의 결과와 일관성을 보이는 파라메터를 선별하되, 본 연구에서 제안한 기울기(slope) 파라메터의 결과(Table 3)를 우선 고려한다.

단계2 – 파라메터별 측정치의 정규성 검정

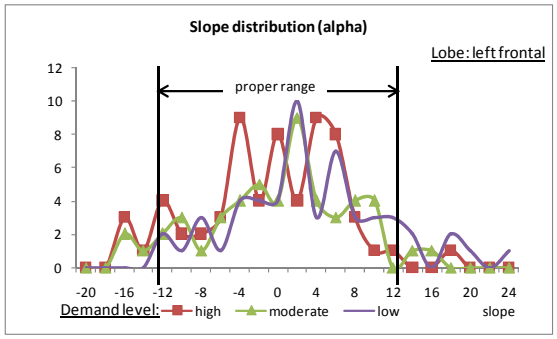
파라메터의 정규성 검정을 실시한다(Figure 3(a), (c)). 정규성 검정 그래프는 각 파라메터의 기울기를 y−축에 표현하고, 수집된 기울기를 오름차순으로 정리하였으며, 이는 정규성 검정에도 활용되었다.

단계3 – 감정적 안정상태를 결정하기 위한 수학적 프로세스

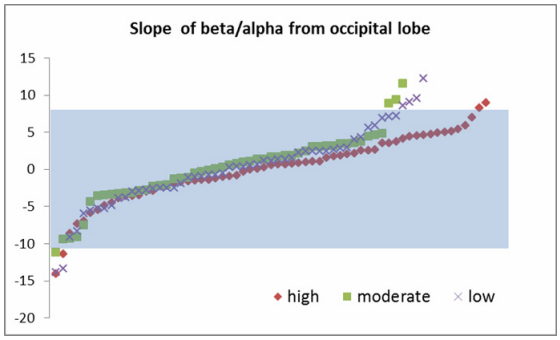
이 과정은 인간의 생리적 심리적 자극에 대한 반응의 크기가 정규분포를 따른다는 것에 착안하였다. 정규분포를 벗어나는 특정 반응은 비정상적인 행동양식을 동반할 수 있는 가능성이 높아지게 된다. 그러므로 이러한 정규분포를 벗어난 생리신호를 이상 신호(outlier)로 보았을 때, 각 파라메터의 감정적 안정상태는 전체 운전자의 90%를 포함하는 $\mu \pm 1.64\sigma$로 정의하고, 확률분포그래프에서 다음과 같이 표현하



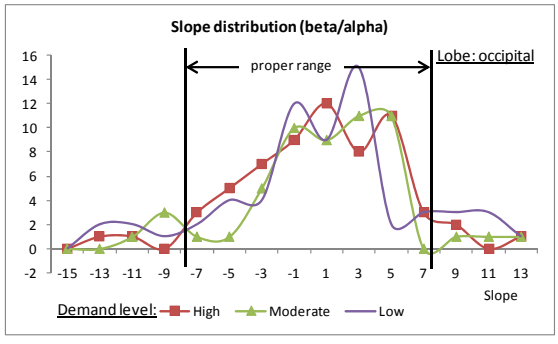
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3. Examples of the emotional stability area of parameters

였다(Figure 3(b), (d)). 이때 범위의 크기는 판별 민감도의 필요성에 따라 다르게 설정될 수 있다. 또한 정규범위에 들어와 있지 않은 신호를 역추적하면 어느 시점에서 운전자가 감정적 안정상태를 유지하지 못했는지를 알아볼 수 있다.

즉, 정규분포의 영역 안에 나타나는 뇌파 파라메터를 통해 운전 중 감정의 변화가 크게 발생하지 않았다는 것을 알 수 있으며, 파라메터 값이 정상영역 밖에서 관찰될 경우는 감정상태가 과다한 긴장이나 운전 중 지루함에 의해 영향받았다는 것을 알 수 있다. 이러한 과정을 통하여 운전자가 얼마나 일관되게 감정적, 정서적 안정상태에서 운전을 실시하였는지를 알 수 있다. 이러한 결과는 생체신호의 과다한 증가나 감소는 감정적 불안정 상태에서 발생할 수 있다는 기존연구들의 결과와도 맥락을 같이 한다. 운전자 생체신호는 본질적으로 확률적 분포성향을 갖고 있으므로 결정론적(deterministic)으로 특정 수치를 안정과 불안정의 임계점(threshold)으로 사용하기 어려운 점이 있다. 그러므로 본 연구에서 예시한 바대로 90% 신뢰도 수준에서 이를 판단하였고, 이 기준은 이미 언급한 바와 같이 얼마나 엄격한 기준을 사용하느냐에 따라 가감될 수 있다.

3.2 Use of multidimensional space

개별 운전자가 감정적 안정성을 가지고 운전하는지를 판별하기 위하여 심리생리신호를 추출하고 자료의 변산성의 문제를 극복하기 위해 각 변수의 최대 최소값을 사용하여 순위 정보화하고 이를 심리적 다면적 공간에 표시하였다. 2차원 좌표상에 안정운전영역이 표현되었고, 이를 감정적 안전운전영역으로 활용하기 위한 방법론을 제시하였다.

3.2.1 Experiment

Kim *et al.*(2004b)은 모의실험 상황에서 운전시 자율신경계 반응을 측정하여 운전감성을 측정하였다. 운전자의 심리·생리적 반응을 비교적 민감하게 반영하는 자율신경계의 생리신호인 피부전도도(skin conductance response; SCR), 말초혈관반응(peripheral plethysmograph; PPG), 피부온도(skin temperature; SKT) 그리고 심박수 heart rate; HR)를 운전대에 부착된 센서를 사용하여 측정하였다(Figure 4).

실제 운전경력이 평균 5년 이상인 10명의 실험참가자를 대상으로 하였다. 실험조건은 주행속도에 따라 정체구간-이완(평균 20km/h), 정속주행-다소 긴장(100km/h), 고속주행-긴장(150~160km/h)의 세 수준과 특수한 운전상황에 따라 졸음운전-이완, 톨게이트 진출입-다소 긴장, 터널주행-다소 긴장, 급정지 또는 전방 차량 끼어듦-긴장의 네 수준으로 분류하여, 각 실험수준 별로 3분간 실험을 실시하였다.

Figure 4. Installation of PPG, GSR and SKT

3.2.2 Assessment of emotional stability

측정된 생리신호는 각 신호의 안정상태를 기준으로 정규화(normalization)한 후 기술통계량을 계산하여 분석하였다. 주행속도의 변화에 따른 생체신호 반응은 주행이 시작되면서 주행속도와는 상관없이 안정상태에 비해 말초혈관반응과 피부온도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 혈류량이 증가하면서 피부전도도가 감소하는 경향을 알 수 있었다. 말초혈관반응은 주행속도가 점차 증가함에 따라 감소하다가 고속주행 상태에서는 다시 증가하는 결과를 나타내었다. 이러한 현상은 고속주행시 운전자가 흥분상태에서 운전을 실시한 것으로 보여지며, 심박수의 증가로 인하여 말초혈관의 혈류량이 증가한 것으로 해석된다. 피부전도도는 주행상태일 때가 정체보다 낮게 나타나 운전자의 긴장으로 인하여 피부표면에 땀과 같은 전해질을 배출되는 것으로 판단되었다. 피부온도는 주행속도와는 상관없이 주행시간 증가함에 따라 점차 증가하는 경향이 나타났다. 이는 실험이 진행되는 동안 센서 접촉면의 피부온도가 외부에서 유입되는 열에 의해 영향을 받는 것으로 판단되어 최종 파라메터에서 제외되었다.

특수 운전상황에 따른 생체신호의 변화는 전방에서 차량이 끼어드는 경우나 터널과 같은 운전환경이 변화되는 경우에 말초혈관반응이 감소하는 것으로 나타났다. 피부전도도는 긴장상황에서 전반적으로 증가하고, 졸음운전의 경우에 감소하는 경향이 큰 것으로 나타났다. 따라서, 피부전도도와 말초혈관반응은 운전상황을 민감하게 표현하는 반면, 피부온도는 운전상황을 부분적으로 반영하는 것을 알 수 있었다.

실험결과를 바탕으로 각 운전상황에 대한 생체신호 반응을 다음의 단계별로 다차원 공간에 표현하는 방법을 사용하여 보았다.

단계1 – 운전상황에 따른 파라메터 값의 순위 결정

– 측정된 개인별 운전자의 생리신호 PPG, GSR을 가장 긴장도가 높은 운전상황을 기준으로 하여 순위로 표현하였다. PPG와 GSR의 순위의 합을 기준으로 최종 순위를 결정하였다(Table 4).

– 순위로 표현된 결과를 좌표로 표현하기 위하여 PPG와 GSR의 종합순위가 1순위는 4점, 9순위는 −4점이 되도록 하여 점수로 변환하였다.

– 같은 방법으로 HR의 변화에 대해서도 긴장도의 정도에 따라 순위로 표현하여 점수화하였다.

Table 4. Ranked information for individual driving condition

Situation		PPG	GSR	Final ranking	Final score
Tension	Normal driving	4	6	4	1
	High speed driving	8	5	8	-3
	TG out	9	8	9	-4
	Short tunnel	6	4	5	0
	Long tunnel	5	7	7	-2
	Cut in front a truck	3	3	2	3
	Change lanes	1	1	1	4
Relax	Delay	7	2	3	2
	Sleepiness	2	9	6	-1

단계2 – 2차원 공간에 맵핑

– 점수로 표현된 긴장수준의 변화는 x−축, 심박수(HR)의 변화는 y−축에 표시하였다(Figure 5).

– 각 운전상황(정체, 터널, 졸음운전 등)을 2차원 평면의 해당 위치에 도시하여, 각 운전상황의 경계를 구분할 수 있도록 하였다.

– Figure 4와 같이 2차원 공간에 심리적 운전상태를 표시할 수 있는 것은 실험결과에서 심박수의 변화가 다른 말초신경계 반응과는 달리 긴장과 이완에 따른 생리신호의 변화가 매우 독립적이라는 정보를 얻을 수 있기 때문이다.

단계3 – 정서적 안전운전영역 표시

– 각 운전상황 중에서 특수한 운전상황을 제외한 정서적으로 안전한 상태의 조건 정체, 일반주행, 고속주행)을 모두 포함하는 운전상황을 기준으로 경계선을 표시하였다.

– 표시된 경계선을 기준으로 정서적 안전운전영역을 Figure 5의 타원과 같이 표시하였다.

다차원 공간에 표현하는 방법은 정서적 안전운전영역(driving with emotional stability)을 시각적으로뿐만 아니라 수리적으로 좌표 상에 표현할 수 있는 장점이 있다. 또한, 운전자의 생리신호 반응이 운전 중 발생할 수 있는 긴장도의

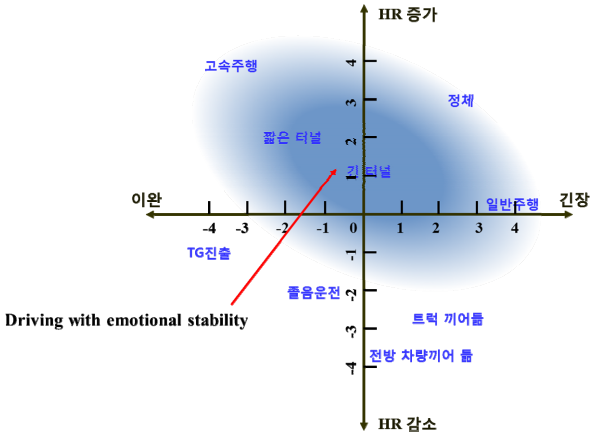


Figure 5. Two dimensional mapping for emotional stability

높고 낮음에 따라 감정적 안정도를 변화시킬 수 있음을 보여준다.

실제 운전상황을 기준으로 운전자의 생리신호를 관찰하고 생리신호들의 복합적인 변화 패턴을 분석하여 파라메터별 반응 패턴 중에서 긴장상황를 Table 5에 정리하였다. Table 5에서는 같은 생리신호 파라메터라도 운전상황이 변화될 때, 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 같은 긴장이라도 운전자가 즐거운 상황일 때는 말초혈관반응이 증가하고 피부온도가 약간 증가하는 것을 볼 수 있으며, 초조한 상황의 긴장에서는 말초혈관반응이 감소하고 피부온도는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 같은 생리신호 반응이라도 그 원인이 다를 수 있음을 보여준다.

이러한 경우와 같이 변화된 값을 기술적 통계자료로 분석할 때 그 원인을 잘못 분석하거나 앞에서 언급한 과다한 변산성의 문제가 발생하게 되므로 결과에 대한 주의 깊은 해석이 요구된다. 본 연구에서는 변산성의 문제를 극복하기 위하여 주어진 결과를 순위 정보화하는 시도를 하였고, 이때 등간 척도에 의한 파라메터의 정보를 일부 손실하는 대신,

Table 5. The pattern of parameters measured from autonomic nervous system

Parameters	Conditions	Outcomes
PPG	Tensed, excited	Increase
HR		Slightly increase
GSR		Increase
SKT		Slightly increase
PPG	Tensed, irritated	Decrease
HR		Decrease
GSR		Increase
SKT		Decrease

어떤 운전상황이 상대적으로 보다 적정한 긴장감과 감정적 안정감을 유지시켜줄 수 있는지에 대한 해석을 가능하게 한다.

3.3 Summary of methodology

본 연구를 통해서 이제까지 신호의 변산성(variability)으로 인하여 기술통계량만으로 분석하기 어려운 운전자의 생체신호 분석하는 방법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 추후 운전자의 정서적 안정상태, 최적운전 긴장상태 등을 파악하는 도구로 사용될 수 있을 것이다. 본 연구의 방법론을 요약하면 다음과 같다.

3.3.1 Use of normative range

- Table 1, 2를 사용하여 측정하고자 하는 운전자의 상황과 이에 해당하는 뇌파의 파라메터를 선정하되, 파라메터의 변산성에 영향을 덜 받는 Table 3의 파라메터를 우선적으로 고려한다.
- 측정된 파라메터의 정규성 검정을 통하여 정규분포를 가지는 파라메터를 선별한다.
- 감정변화분포에서 90%를 포함할 수 있는 범위를 선정하여 운전자의 감정적 안정상태의 판별에 사용한다.

3.3.2 Use of multidimensional space

- 생리신호를 개인 별로 정규화하고 운전상황에 따라 순위를 부여하여 Table 4의 방법으로 점수화한다
- 점수화된 생리신호의 점수체계를 그래프에 표현하고 경계를 구분한다.
- 특수하거나 위험한 운전상황을 제외한 안전한 운전상황에서 운전자들이 정서적으로 편안하고 안전하게 운전할 수 있는 영역을 찾아낼 수 있다.

이러한 방법을 이용하여 심리생리신호를 매개로 하는 운전상황에 대한 감정상태를 평가하는 새로운 방법론을 제시하였다. 이 방법들은 기존의 기술통계적 접근에 의해 해석되지 않았던 운전자의 정신부하와 감정적 안정상태, 졸음운전 등을 평가하는데 새로운 대안으로 사용될 수 있을 것이다. 본 방법론 추후 안전운전을 위한 감성공학적 인터페이스 설계 등에 응용될 수 있을 것이다.

4. Conclusion

본 연구에서는 실제 운전상황에서 측정된 생리신호 측정

을 통하여 운전자의 심리생리적 안정도를 평가하는 방법을 소개하고 실제 실험결과를 토대로 파라메터의 패턴과 운전 상황과의 관계를 정리하였다. 본 연구에서 소개된 방법론은 운전자뿐만 아니라, 다양한 정신부하(mental workload)를 경험하는 사용자들의 감정상태를 측정하는데 활용될 수 있을 것이다.

References

Bae, J. H.., Won, W. J. and Son, J. W., Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification for Driver Physiological Signal of Ages under Unexpect Events, *Journal of Korean Society of Automotive Engineers*, 1147-1152, 2008.

Boucscein, W., *Electriodermal Activity*, New York: Plenum Press, 1992.

Brookhuis, K. A. and Waard, D. D., The Use of Psychophysiology to Assess Driver Status, *Ergonomics*, 33(9), 1099-1110, 1993.

Chung, S. C., Min, B. C., Kim, S. K., Min, B. W., Oh, J. Y., Shin, J. S. Kim, Y, N., Kim, C. J. and Park, S. J., A Study on Autonomic Responses Caused by Dynamic Visual Stimulation, *The Conference of Ergonomic Society of Korea, Autumn*, 1999.

Coutin-Churchman, P., Anez, Y., Uzcategui, M., Alvarez, L., Vergara, F., Mendez, L. and Fleitas, R., Quantitative Spectral Analysis of EEG in Psychiatry Revisited: Drawing Signs out of Numbers in a Clinical Setting, *Clinical Neurophysiology*, 114, 2294-2306, 2003.

Gobel, M., Springer, J. and Scherff, J. Stress and Strain of Short Haul Bus Drivers: Psychophysiology as a Design Oriented Method for Analysis, *Ergonomics*, 41(5), 563-580, 1998.

Gundel, M., Drescher, J., Maas, H., Samel, A. and Vejvoda, M., Sleepiness of Civil Airline Pilots during Two Consecutive Night Flights of Extended Duration, *Biological Psychology*, 40(1-2), 131-141, 1995.

Hankins, T. C. and Wilson, G. F., A Comparison of Heart Rate, Eye Activity, EEG and Subjective Measures of Pilot Mental Workload during Flight, *Aviat. Space Environ. Med.,* April, 69(4), 360-367, 1998.

Helander, M. G., Physiological Reactions of Driver's as Indicators of Road Traffic Demand, *Transportation Research Record*, 530, 1-17, 1975.

Kakimoto, Y., Nakamura, A., Tarui, H., Nagasawa, Y. and Yagura, S., Crew Workload in JASDF C-1 Transport Flights: I. Change in Heart Rate and Salivary Cortisol, *Aviat. Space Environ. Med.,* Jun; 59(6), 511-516, 1998.

Kecklund, G. and Akerstedt, T., Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving, *Ergonomics*, 36(9), 1007-1017, 1993.

Kim, J. Y. and Yoon, S. Y., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I: Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 44-49, 2004a.

Kim, J. Y. and Yoon, S. Y., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility III: Development and Validation of Diagnostic Model, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 58-64, 2004b.

Kim, J. Y., Yoon, S. Y. and Park, J. S., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility II: Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 20(1), 50-57, 2004a.

Kim, J. Y., Whang, M. C., Park, J. S. and Yoon, S. Y., Analysis of Optimal and Pleasant Driving Condition using Physiological Signals, *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 7(3), 27-35, 2004b.

Kim, H. H., Lee, S. H., Kang, D. K., Kim, D. J. and Ko, H. W., A Study on the Human Sensibility Evaluation Technique using 10-channel EEG, *The Conference of Korean Institute of Electrical Engineers*, July, 10 -12, 2002.

Korea Automobile Manufacturers Association, http://www.kama.or.kr, 2010.

Korea Institute of Construction Technology, *Discrimination of Hazardous Road Section using Driver's Behavior & Response Detecting Vehicle*, December, 2002.

Lee, S. I., *Automobile Knew Get in*, Hangaram, 2001.

Lee, Y. C., Kim, B. S., Kim, H. W., Lim, D. H., Bak, M. S., Min, B. C. and Min, Y. K., The CNS Responses of Elderly Drivers due to Signal Types at the Intersection: Focused on Yellow Interval Dilemma Situation, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(5), 783 -788, 2010.

Lorenz, J., Lorenz, B. and Heineke, M., Effect of Mental Task Load on Fronto-Central Theta Activity in a Deep Saturation Dive to 450 MSW, *Undersea Biemed. Res*., Jul; 19(4), 243-262, 1992.

Milosevic, S., Drivers' Fatigue Studies, *Ergonomics*, 40(3), 381-389, 1997.

Ministry of Education, Science and Technology, *Development of Synthetic Physiology Signal Measuring and Analyzing System*, KRISS, 1998.

O'Hanlon, J. F. and Kelly, G. R., Comparison of Performance and Physiological Changes between Drivers Who Perform Well and Poorly during Prolonged Vehicular Operation, in R. R., *Vigilance Theory: Operational performance and Physiological Correlates*, 87-109, New York: Plenum, 1977.

Papanicolaou, A. C., Loring D. W., Deutsch, G. and Eisenberg, H. M., Task-Related EEG Asymmetries: a Comparison of Alpha Blocking and Beta Enhancement, *International Journal of Neuroscience*, 30, 81-85, 1998.

Richter, P., Wagner, T., Heger, R. and Weise, G., Psychophysiological Analysis of Mental Load during Driving on Rural Roads - a Quasi-experimental Field Study, *Ergonomics*, 41, 593-609, 1998.

Roscoe, A. H., Heart Rate as a Psychophysiological Measure for In-flight Workload Assessment, *Ergonomics*, 36(9), 1055-1062, 1993.

Svensson, El, Angelborg-Thanderz, M., Sjoberg, L. and Olsson, S., Information Complexity-Mental Workload and Performance in Combat Aircraft, *Ergonomics*, 40(3), 362-380, 1997.

Tara, E. G., Edward, B. B., Loretta, S. M. and Brian, M. F., The Psycho-physiology of aggressive drivers: Comparison to non-aggressive drivers and pre- to post-treatment change following a cognitive-behavioural treatment, *Behaviour Research and Therapy*, 41, 1055 -1067, 2003.

Torsvall, L. and Akerstedt, T., Sleepiness and Irregular Work Hours, *Sleep Research*, 12, 376, 1983.

Waard, D. D., Jessurun, M. and Steyvers, J. J. M. F., Effect of Road Layout and Road Environment on Driving Performance, Drivers' Physiology and Road Appreciation, *Ergonomics*, 38(7), 1395-1407, 1995.

Author listings

Jung Yong Kim: jungkim@hanyang.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, The OHIO state University

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Psychophysiology, PUI design

Ji Soo Park: jspark21@hanyang.ac.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Kyonggi University

Position title: Doctoral candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Psychophysiology, Bio-signal processing, PUI design

Sang Young Yoon: syyoon@hanyang.ac.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Hanyang University

Position title: Doctoral candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Psychophysiology, Human interface design, Human error, PUI design

Date Received : 2011-01-31

Date Revised : 2011-02-11

Date Accepted : 2011-02-11