

운전자 주행 적합성 진단을 위한 연구 II: 생체신호 추출, 선정 및 정량화

김정룡* · 윤상영 · 박지수

한양대학교 정보경영공학과

The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility II: Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification

Jung-Yong Kim · Sang-Young Yoon · Ji-Soo Park

Dept. of Information & Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

The aim of this study is to collect driver's psychophysiological signal under various road condition and to select and quantify psychophysiological variables for diagnosis of road-driver compatibility. A 4x4 vehicle with measuring devices was developed to collect driver's psychophysiological signal and collected driver's psychophysiological signal under various road conditions. The collected data were analyzed by the temporal pattern of signal over time. Thirteen bio-signals with consistent pattern were selected and quantified in terms of slope and amplitude of the signal. These quantified values could be used as a part of tool to diagnose the road-driver compatibility.

Keywords: driver's psychophysiological state, temporal pattern of signal, quantification

1. 서론

근래에 들어 국내외적으로 운전자의 생체신호를 측정하여, 교통사고에 대한 인적 요인을 찾고자 하는 노력이 빈번하게 이루어지고 있다. 뇌파(EEG)측정을 통해 운전자의 각성, 졸리움과 피로도를 측정하고자 하는 연구가 활발하게 진행되었으며(Kecklund and Akersted, 1993; Brookhuis and Waard, 1993; Gundel *et al.*, 1995), 운전자의 눈깜박임이나(Richter *et al.*, 1998), 심장박동수가 운전자의 정신부하, 도로환경, 운전 지속 시간 등의 변화에 민감하게 반응하는 것을 밝혔다(Waard *et al.*, 1995; Milosevic, 1997; Gobel *et al.*, 1998; Richter *et al.*, 1998). 국내에서는 도로교통안전협회에서 주행중 도로의 기하구조가 운전자에게 미치는 영향에 대한 연구를 1명의 피험자를 사용하여 실시하였다(Shin *et al.*, 1996). 또한 민병찬 외 7명의 연

구자(1999)는 직선도로와 굴곡이 심한 도로를 비교하여, 굴곡이 심한 도로에서 교감신경이 활성화되는 것을 보고하였다.

이러한 기존 연구에서는 운전자 생체신호의 기술통계적인 수치를 기술하는 방법을 사용하였다. 그러나 생체신호 분석에 기술통계값을 이용한 경우에는 생체신호 변이도가 너무 커, 운전자의 주행적합성을 판단하고자 하는 본 연구의 목적에 부적합한 것으로 연구되었다(Kim and Yoon, 2004). 따라서 본 연구에서는 평균과 표준편차를 이용하던 종래의 결정적 접근방법(deterministic approach)에 대한 대안으로서 진단적 접근방법(diagnostic approach)을 사용하기로 하고, 이를 통한 운전자의 주행적합성을 평가할 수 있는 생체신호 변수의 선정 및 정량화하기 위한 연구를 실시하였다. 본 연구는 운전자 주행적합성 진단을 위한 연구의 일부로서 전체 연구과정 중 현재 연구의 진행단계를 <Figure 1>에 나타내었다.

본 연구는 한국도로공사의 지원으로 수행되었음.

* 연락저자 : 김정룡 교수, 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 한양대학교 공학대학 정보경영공학과, Fax : 031-406-5007,

E-mail : jykim@eml.hanyang.ac.kr

2002년 10월 접수; 2003년 12월 수정본 접수; 2004년 1월 게재 확정.

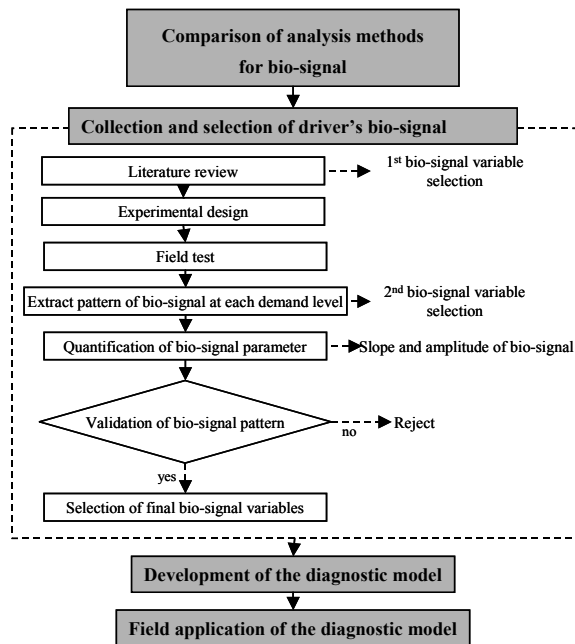


Figure 1. Process of development of diagnostic model for road-driver compatibility. This study covers the flow chart in dashed line.

2. 연구 방법

2.1 기존 연구를 통한 1차 생체신호 변수 선정

중추신경계 생체신호인 뇌파에 대해서는 스펙트럼 분석을 통해 파형별로 언어지는 스펙트럼 값의 크기 변화가 관찰되었고, α 파와 θ 파를 중심으로 많은 연구들이 수행되었다(<Table 1>). 이를 토대로 1차 생체신호 변수는 기존 연구결과를 바탕으로 운전과 관련 있는 정신부하(mental load), 졸리움, 피로 등의 변화에 민감하게 반응하는 생체신호 변수를 선정하였다. 자율신경계 생체신호 분석에 있어서도 주로 각 생체신호의 크기를 바탕으로 변화량을 관찰하여 분석한 연구가 이루어졌고, 심박수, 안구운동도, 피부표면온도, 피부전도도에 대한 연구가 수행되었으며(<Table 2>), 자율신경계 생체신호 중에서 작업의 난이도와 정신부하를 잘 반영하는 눈동자 움직임, 피부 표면온도, 피부전도도를 1차 생체신호 변수로 선정하였다.

2.2 실험을 통한 2차 생체신호 변수 선정

기존 연구를 통해 선정된 변수를 중심으로 실험을 실시하였

Table 1. Summary of results from previous studies on central nerve system: variables selected for the first time

Influencing factor	Bio-signal for central nerve system	Parameter response	References
Memory load ↑	Frontal lobe	theta ↑	Lorenz <i>et al.</i> (1992)
Sleepiness ↑	Parietal lobe, Occipital lobe, Central lobe	alpha ↑ theta ↑	Kecklund and Akerstedt(1993), Gundel <i>et al.</i> (1995)
Mental workload ↑	Parietal lobe Central lobe	alpha ↓ theta ↓	Roscoe(1987, 1993), Hankins and Wilson(1998),

Table 2. Summary of results from previous studies on autonomic nerve system: variables selected for the first time

Influencing factor	Bio-signal for autonomic nerve system	Parameter response	References
Memory load ↑	ECG	Heart rate ↑	Roscoe(1987, 1993), Svensson <i>et al.</i> (1997), Hankins and Wilson(1998), Kakimoto <i>et al.</i> (1998), Gobel <i>et al.</i> (1998), Richter <i>et al.</i> (1998)
Mental workload ↑	EOG	Eyeblink rate ↑, Eye movement ↑	Stern <i>et al.</i> (1994), Richter <i>et al.</i> (1998), Torsvall and Akerstedt(1983, 1987)
Task difficulty ↑	SKT, SCR	SKT ↑, SCR ↑	Boucsein(1992), Richter <i>et al.</i> (1998),

으며, 그 중 도로환경에 따른 일정한 패턴을 나타낸다고 판단 되는 생체신호 변수를 선정하였다.

2.2.1 현장 실험

피실험자

총 73명의 피실험자가 실험에 참가하였으며 과거에 뇌질환이나 심장질환으로 인해 입원하거나 치료를 받은 적이 없고, 색맹, 색약 등 시각 기능에 이상이 없는 신체 건강한 정상인을 대상으로 하였다. 실험 전에 약물 복용, 흡연, 커피나 알코올을 복용하지 않도록 주의하였으며, 피실험자에게 피로가 누적되지 않도록 하기 위하여, 실험과 실험 사이에는 하루 이상의 충분한 휴식 간격을 두도록 하였다.

실험장비

본 연구의 실험차량은 국내에서 생산된 H사의 사륜구동 차량을 사용하였다. 본 차량에 운전자의 생리신호를 수집하기 위한 생리신호 측정장비와 외부 운전환경을 생체신호 분석과 함께 고려하기 위한 장비를 장착하였다.

생리신호를 수집하기 위한 장비로는 BIOPAC사의 MP100 시스템을 사용하였다. 이 장비는 총 16 채널(EEG : 7ch, EOG : 2ch, EMG : 2ch, ECG : 2ch, SKT : 1ch, PPG : 1ch, GSR : 1ch)을 측정할 수 있다. MP100 시스템은 다양한 생체신호를 수집할 수 있으며, 부피가 작고, 충격에 비교적 강한 특성을 가지고 있어, 차량 장착용 생체신호 수집장비로 선정되었다.

외부 운전환경을 조사하기 위한 장비로는 차량 전·후방의

운전 상황을 생체신호 변화와 함께 고려하기 위해 CCTV 카메라가 차량 지붕 앞·뒤쪽에 설치되어 있으며, 전·후방 차량의 속도 측정을 위해 Laser Tech.사의 UltraLyte 2대가 사용되었다. 이 외에도 실험차량에는 수집된 정보의 제시 및 저장을 위해 PC 2대, 모니터, 비디오 레코더 등이 설치되었으며, 시스템이 설치된 차량의 실내·외 모습과 피실험자의 모습을 <Figure 2>와 <Figure 3>에 나타내었다.

실험대상 지역

실험구간은 운전의 어려움, 교통사고 여부, 도로환경 등을 고려하여 3단계로 구분하였으며, 실험구간 선정을 위해 한국 도로공사의 사고 취약지점 현황자료와 도로구조 시설기준에 나타난 자료에 따라 선정하였다.

어려운 구간으로는 사고가 발생할 확률이 높다는 가정하에 한국도로공사에서 선정한 사고다발 지역을 선정하였다. 곡선 구간은 도로구조 시설기준에서 권장하는 도로설계기준에 따라, 차량의 주행속도가 100km/h일 때, 460m이상의 곡선반경과 3%이내의 도로구배를 지정하였다. 그리고 평이한 구간으로 선정한 지역은 최소 곡선반경이 2000m 이상이며, 도로의 구배가 2% 이내의 평이한 도로로, 이는 거의 직선에 가까운 평지 직선 구간이 5분 이상 유지되는 구간을 선정하였다.

실험과정

실험을 실시하기 전에 피실험자의 인체 측정자료(키, 몸무게)를 측정하고, 운전경력, 실제 운전 경력, 주관적인 건강상



Figure 2. Bio-signal measurement system built in vehicle.

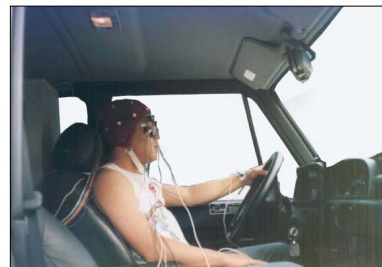


Figure 3. A vehicle and subject wearing and attaching bio-sensors.

때, 주관적인 심리상태 등에 관한 설문조사를 실시하였다. 또한 실험을 시작하기 전에 운전자의 안정상태의 생체신호를 약 1분간 측정후, 주의사항을 전달하고, 표면전극 부착 등으로 인한 새로운 운전환경에 적응시키기 위해 약 30분 동안 전극을 부착한 상태로 실제 도로주행을 실시하게 하였다.

자료수집의 정밀도를 향상시키기 위해 현장실험조건을 다음과 같이 정의하였다. 실험중에 운전자는 실험자와 대화를 할 수 없도록 하였고, 위급사항이 발생할 경우에는 운전자가 실험자에게 도움을 청할 수 있도록 하였으며, 졸음이나 다른 사항으로 인하여 사고가 발생할 위험이 있다고 판단될 경우에는 실험자가 운전자에게 음성으로 각성(arousal)을 유도할 수 있도록 하였다. 또한, 대화 이외에 음악을 듣거나, 흡연 등과 같은 생체신호에 영향을 미칠 수 있는 모든 활동을 금지하였다. 차량속도는 90~100 Km/h를 유지할 수 있도록 하였으며, 불필요한 차로 변경이나 추월 등을 금지하였다.

실험설계

총 73명의 피실험자는 어려운 구간, 곡선구간, 평이한 구간과 같은 도로상황에 따른 비교를 위해 각 도로구간을 모든 피실험자가 운전하는 Within-subject 실험배치를 실시하였다. 독립변수로는 운전의 어려움, 교통사고 여부를 고려한 구간특성이며, 종속변수로는 기존 연구에서 주행중 민감하게 반응하던 생체신호 변수와 α 파와 β 파의 변화비를 나타내는 β/α 를 측정하였다. 본 연구에서 선택한 종속변수는 운전상황 변화에 대해 상호 독립적인 생체신호 반응을 나타낸다는 가정하에 선정되었다.

2.2.2 구간별 생체신호 패턴 추출

기존 연구고찰에서 선정된 1차 생체신호 파라미터들 중에서 일정한 패턴(Kim and Yoon, 2004)을 나타내는 생체신호를 2차로 선정하였다. 첫째, <Figure 4>와 같이 수집된 운전자 생체신호 중 하나를 선정하여, 30초 간격으로 평균값을 구하고, 시간 변화에 따른 증감 패턴을 파악하였다. 그 중에서 운전상황에 따라 변화 패턴이 비교적 일정하게 나타나는 생체신호 변수를 찾아내었다. 둘째, 운전자의 생체신호를 10초 단위로 세분화하여 50초 동안의 생체신호 패턴 변화를 살펴보고, 일정한 패턴을 나타내는 생체신호를 선정하였다. 생체신호 선정 시간의 단위는 실험적으로 30초와 10초를 선정하였고, 생체신호의 유형에 따라 추후 수정이 가능할 것이다.

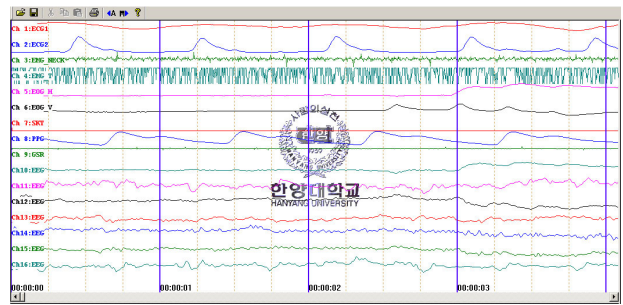


Figure 4. Raw signal of driver's bio-signal.

수집된 생체신호에 대해 정성적으로 패턴화하는 과정을 <Figure 5>와 <Figure 6>에 나타내었다. <Figure 5>에서 나타난 좌측 전두엽의 뇌파활성도(β/α)의 패턴화 과정을 보면,

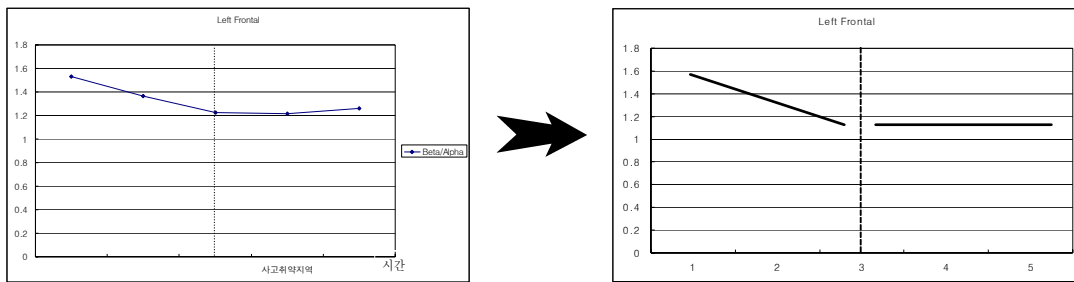


Figure 5. Process of pattern classification of β/α collected from left frontal lobe.

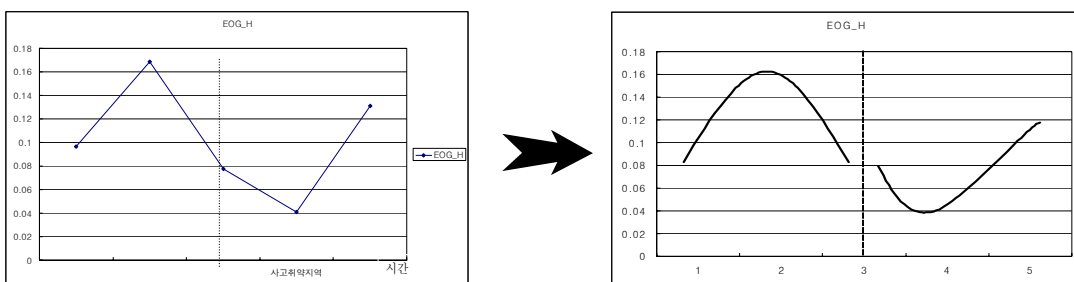


Figure 6. Process of pattern classification of horizontal eye movement.

점선 이전에는 생체신호가 감소하는 경향을 나타내다가, 점선 이후에서는 생체신호의 변화가 없는 것으로 패턴화할 수 있다. <Figure 6>에는 자율신경계 신호인 좌우 안구운동도의 패턴화 과정을 나타내었으며, 점선을 중심으로 후반부에는 생체신호가 많이 떨어졌다 회복하는 패턴이 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

<Figure 5>와 <Figure 6>과 같이 생체신호 변수 선정과정 중 구간별 생체신호 패턴 추출은 신호의 안정도를 고려하여, 연구자의 정성적 패턴 인식기준(Kim and Yoon, 2004)에 의거하여 선정하여 해석하였으며, 선정된 2차 생체신호 변수는 <Table 3>과 같다.

2.3. 생체신호의 정량화

2.3.1 생체신호 크기의 정량화

생체신호의 크기는 개인 운전자에 대해서 뇌파와 같은 중추신경계 생체신호에 대해서는 스펙트럼 분석을 통해 분석하였으며, 자율신경계 생체신호는 RMS 분석을 실시하였다. 또한 생체신호의 특성상 개인 간 또는 신호 간의 변이도가 크고, 같은 피실험자에 대한 신호를 비교하더라도 실험방법과 시간에 따라 다르게 나타나기 때문에, 개인별로 모든 생체신호에 대해서 정규화(normalize)를 실시하였다. 정규화 방법으로는 식 (1)과 같은 방법을 사용하였다.

$$\text{Normalized Signal} = \frac{\text{Signal}_{\text{Task}}}{\text{Signal}_{\text{Rest}}} \quad (1)$$

여기에서, $\text{Signal}_{\text{Task}}$ = 운전중 측정된 생체신호
 $\text{Signal}_{\text{Rest}}$ = 휴식 시 측정된 생체신호

2.3.2 생체신호 변화 패턴의 정량화

정규화된 생체신호를 50초 동안 10초 간격으로 구분하고, 개인별 생체신호 크기값의 변화를 기울기(slope)로 계산하여, 시간변화에 따른 생체신호의 변화 경향으로 정의하였다. 측정하고자 하는 구간에서의 기울기는 다음의 식 (2)와 같이 계산되어지고 <Figure 7>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{주어진 구간 내에서의 기울기} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{X_i} \quad (2)$$

여기에서, i = 세부분석 구간
 n = 분석하려는 세부 구간의 셀 수
 X_i = 시간의 변화
 Y_i = 생체신호의 변화 크기
 단, 감소율의 경우 (-) 값으로 계산한다.

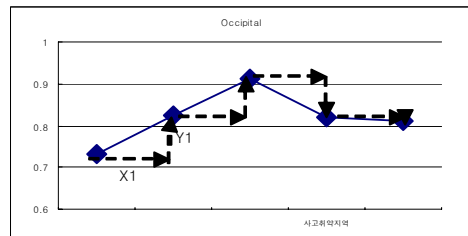


Figure 7. Example of calculation of the slope parameter.

Table 3. Psychophysiological variables selected for the second time

	Psychophysiological variable	Meaning of bio-signal	Measuring body part	Bio-signal pattern during experiment
Central nerve system	β/α	driver's strain, attention and awakening	left/right frontal lobe, occipital lobe	frontal lobe: increasing pattern at target area occipital lobe: decreasing pattern at target area
	Theta wave power spectrum	driver's sleepiness and boring at easy-driving road	central lobe, parietal lobe, occipital lobe	occipital lobe: decreasing pattern at target area central/parietal lobe: continuous increase as driving time increases
Autonomic nerve system	Eye movement	vigilance level of driver	above/below and left/right of eyeball	increasing pattern around area with accident record
	Skin temperature	driver's strain, attention and awakening	left ankle	decreasing pattern around area with accident record
	Galvanic skin response	driver's strain, attention and awakening	left index finger	continuous increase as driving time increase

3. 최종 생체신호 변수 선정을 위한 평가

생체신호 파라미터를 통해, 정량화된 운전자의 생체신호에 대해 타당성 평가를 실시하였다. 타당성 평가는 첫째, 기존 연구 결과와의 일치성을 판단하고, 둘째, 운전의 어려움 정도에 따른 일관된 증감 패턴이 나타나는가를 조사하였다. 이러한 두 가지 평가기준을 만족하는 최종 3차 파라미터를 선정하였다.

3.1 기울기를 이용한 3차 생체신호 선정

생체신호 반응의 기울기를 어려운 구간, 곡선구간, 평이한 구간으로 나누어 분석한 결과를 <Table 4>에 나타내었으며, 기존 연구결과와 비교한 결과와 일관된 변화 패턴을 나타내는 지를 함께 나타내었다. 중추신경계에서는 두정엽 θ 파의 기울기 변화가 사고다발지역인 어려운 구간에서 음의 값을 나타내어, θ 스펙트럼 값이 점차 낮아지는 패턴을 나타내었다. 또한 이러한 경향은 곡선구간과 평이한 구간으로 갈수록 점차 증가하는 일관된 경향을 나타내어, 기존 연구에서 나타나는 경향과 일치하였다. 좌·우측 전두엽의 뇌파활성도(β/α)와 중심엽의 θ 파는 어려운 구간과 평이한 구간만을 비교할 때, 기존 연구와 일치하는 경향성을 나타내었으며, 후두엽 생체신호 기울기 변화는 기존 연구와 다른 변화 패턴을 나타내거나, 구간별로 일정한 경향성을 찾기 어려웠다. 모든 자율신경계 생체신호는 기울기 변화 패턴이 기존 연구결과와 일치하고, 일관된 경향을 나타내었다. 평이한 구간에서 어려운 구간으로 갈 때, 자율신경계에서 안구운동도와 피부전도도는 점차 증가하

는 패턴을 나타내었으며, 피부표면온도는 낮아지는 경향을 보였다.

3.2 생체신호 크기를 이용한 3차 생체신호 선정

생체신호 반응의 크기에 대하여 분석한 결과를 보면(<Table 5>), 자율신경계의 안구운동도만이 어려운 구간에서 높은 긴장도, 집중도 또는 각성상태를 나타냈으며, 운전환경에 따라 어느 정도 일관된 경향성을 가지는 것으로 나타났다. 중추신경계의 경우 모든 lobe에서는 일정한 경향성이 나타났지만, 기존 연구와 비교할 때, 상반된 결과를 나타내었으며, 개인별로 편차도 크게 나타났다. 운전상황에 따른 운전자의 생체신호의 크기를 분석한 결과, 안구운동도를 제외하고는 신뢰성 있는 평가가 이루어지기 힘든 것으로 판단되었다.

4. 최종 생체신호 변수의 선정 및 해석

도로상황에 따라 분석한 결과를 바탕으로 운전자의 심리·생리상태를 민감하게 반영하는 생체신호 변수를 선정하였다. 선정기준은 기존 연구결과와 일치하며, 도로환경 변화에 따라 일관성 있게 변화하는 생체신호를 선정하였으며, 기존 연구결과에 없는 뇌파활성도(β/α)의 경우는 경향성이 일관적으로 나타나는 부위에 대하여 변수로 선정하였다. 선정기준에 따라 총 13개의 생체신호 변수가 선정되었으며, 운전환경이 변화할 때의 생체신호 변화 패턴을 <Table 6>에 정리하였다.

Table 4. Evaluation of slope parameter for their consistency

Bio-signal			average and standard deviation of slope			Comparison with previous studies*	Consistent pattern over demand levels**
			Easy area (straight way)	Moderate area (curvature way)	Difficult area (area with accident record)		
Central nerve system	Left Frontal lobe	β/α	-0.635±0.721	1.215±0.822	0.846±1.003	-	△
	Right Frontal lobe	β/α	-0.524±0.807	0.082±0.706	-0.137±0.587	-	△
	Central lobe	θ	1.032±1.58	1.356±1.592	-0.005±1.421	○	△
	Parietal lobe	θ	2.369±1.483	-0.096±1.575	-0.736±1.352	○	○
	Occipital lobe	β/α	-0.392±0.838	-0.017±0.682	-0.289±0.714	-	×
	Occipital lobe	θ	-0.201±1.328	0.399±1.486	-0.009±1.758	×	×
Autonomic nerve system	Horizontal eye movement		-0.003±0.011	-0.001±0.011	0.001±0.012	○	○
	Vertical eye movement		-0.050±0.016	-0.012±0.013	-0.008±0.014	○	○
	Skin temperature		0.059±0.100	-0.005±0.069	-0.308±0.159	○	○
	Galvanic skin response		-0.002±0.0005	0.000±0.0002	0.001±0.0003	○	○

* ○: similar pattern, ×: contradict, -: N/A ** ○: consistent increase or decrease, △: increasing or decreasing, ×: no trend

Table 5. Evaluation of amplitude parameter for their consistency

Bio-signal			Average and standard deviation of slope			Comparison with previous studies*	Consistent pattern over demand levels**
			Easy area (straight way)	Moderate area (curvature way)	Difficult area (area with accident record)		
Central nerve system	Left Frontal lobe	β/α	9.477±3.627	8.612±4.607	7.536±3.076	–	○
	Right Frontal lobe	β/α	8.407±2.656	7.203±2.314	7.023±1.79	–	○
	Central lobe	θ	36.768±5.996	38.329±5.563	37.526±6.836	×	×
	Parietal lobe	θ	33.925±6.499	35.862±8.306	38.469±8.373	×	○
	Occipital lobe	β/α	9.100±3.178	9.022±2.44	8.274±2.69	–	○
	Occipital lobe	θ	33.109±7.97	34.709±7.859	35.319±7.866	×	○
Autonomic nerve system	Horizontal eye movement		1.006±0.054	1.032±0.075	1.037±0.083	○	○
	Vertical eye movement		1.006±0.054	1.169±0.25	1.160±0.184	○	△
	Skin temperature		2.713±3.195	1.000±1.094	1.164±1.349	×	×
	Galvanic skin response		0.991±0.032	0.962±0.122	0.962±0.113	○	○

* ○: similar pattern, ×: contradict, –: N/A

** ○: consistent increase or decrease, △: increasing or decreasing, ×: no trend

Table 6. The meaning of pattern of final parameters

	Parameter		Moving trend when demand increases	Description	
Slope	Central nerve system	Left frontal lobe β/α	Increase	Increase of β -wave is larger than that of α -wave as time passes. It reflects that tension, attention or alertness of driver increases as driving condition becomes difficult.	
		Right frontal lobe β/α	Increase		
		Central lobe θ	Decrease		
		Parietal lobe θ	Decrease		
	Autonomic nerve system	Horizontal eye movement		Increase	The more difficult driving condition was, the more increase of eye movement was found. Thus, few eye movement found at straight highway.
		Vertical eye movement		Increase	
		Skin temperature		Decrease	The more difficult driving condition was, the more increase of tension, attention or alertness of driver. It reflects that decrease of blood flow due to shrinking of blood vessel.
		Galvanic skin response		Increase	Tension, attention or alertness of driver increases as driving condition becomes difficult. Difficult driving condition makes the driver sweat that increases conductance.
Amplitude	Central nerve system	Left frontal lobe β/α	Decrease	Increase of α -wave was greater than that of β -wave as driving condition becomes difficult.	
		Right frontal lobe β/α	Decrease		
		Occipital lobe β/α	Decrease		
	Autonomic nerve system	Horizontal eye movement		Increase	The more difficult driving condition was, the more increase of eye movement was found. Thus, few eye movement found at straight highway.
		Vertical eye movement		Increase	
		Galvanic skin response		Increase	Tension, attention or alertness of driver increases as driving condition becomes difficult. Difficult driving condition makes the driver sweat that increases conductance.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 기존 연구와 현장실험을 통하여, 운전자의 생체신호와 주변 운전환경의 상호연관성이 있다고 판단되는 변수를 발견하기 위한 시도를 하였다. 이러한 과정에서, 시간변화에 따라 일정한 생체신호 패턴이 나타나는 현상을 관찰할 수 있었고, 이러한 패턴을 주행적합성을 진단하는 변수로 정량화할 수 있었다. 여기서 일정한 생체신호 패턴이란, 특정 외부 자극에 대한 생체신호의 증가 또는 감소의 경향이 다른 신호에 비해 두드러진 경우를 의미한다. 이렇게 정량화된 생체신호 변화 패턴은 운전중 변화하는 운전자의 심리·생리적 반응을 나타낼 수 있으므로, 운전자를 지속적으로 모니터링 할 수 있으며, 이러한 운전자의 연속적인 정보는 일정 시간 동안 발생한 운전자의 심리·생리적 변화를 알 수 있다는 장점이 있다. 또한, 생체신호의 지속적 증감 패턴 뿐 아니라, 신호의 크기로도 운전자의 특정한 심리·생리적 상태를 추정하는 것이 가능하므로, 본 연구에서는 운전자의 심리·생리적 상태를 측정하여 안전운전 상태를 정량적으로 평가 또는 추정할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

생체신호의 정량화 방법으로는 뇌파의 스펙트럼 값과 생체신호의 활동도를 나타내는 RMS값을 사용하였고, 10초 간격으로 수집된 생체신호 패턴의 시간적 변화를 나타내는 기울기값은 식 (2)를 이용하여 사용하였다. 생체신호를 일종의 기울기값으로 표현할 때, 신호의 변이도가 고려되지 않는다는 단점이 있으나, 운전환경과 운전자의 심리·생리반응과의 관계를 현장에서 실시간으로 분석할 수 있는 알고리즘을 제공할 수 있었다는 장점이 있다. 또한 식 (2)의 계산 방법 이외에 회귀분석을 통한 패턴 정량화를 고려하였으나, 개인 간 생체신호의 편차로 인해 회귀선의 설명도가 떨어지며 자료의 처리분량이 너무 많아 실시간 분석을 요구하는 현장 적용에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

결론적으로 실제 주행적합성 진단에는 생체신호의 크기를 나타내는 변수와 생체신호 변화의 양을 나타내는 변수가 동시에 사용되어, 크기 변수만을 사용하던 이전의 연구에 비해 운전자의 심리·생리상태를 보다 정확하게 측정해 낼 수 있었고, 이를 통한 보다 정밀한 주행적합성 평가가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 추가적인 연구와 실험을 통해 새로운 변수가 추가되거나 수정됨으로써 변수의 진단 민감도가 증가될 것으로 예상된다.

참고문헌

Boucsein, W. (1992), *Electrodermal activity*, New York: Plenum Press.

- Brookhuis, K. A. and Waard, D. D. (1993), The Use of Psychophysiology to Assess Driver Status, *Ergonomics*, **33**(9), pp.1099-1110.
- Gobel, M., Springer, J., and Scherff J. (1998), Stress and Strain of Short Haul Bus Drivers: Psychophysiology as a Design Oriented Method for Analysis, *Ergonomics*, **41**(5), 563-580.
- Gundel, A., Drescher, J., Maas, H., Samel, A., and Vejvoda, M. (1995), Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night flights of extended duration, *Biol. Psychol.*, May; **40**(1-2), 131- 41.
- Hankins, T. C., and Wilson, G. F. (1998), A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight, *Aviat. Space Environ. Med.*, Apr; **69**(4), 360-367.
- Kakimoto, Y., Nakamura, A., Tarui, H., Nagasawa, Y., and Yagura S. (1998), Crew workload in JASDF C-1 transport flights: I. Change in heart rate and salivary cortisol, *Aviat. Space Environ. Med.*, Jun; **59**(6), 511-6.
- Kecklund, G. and Akerstedt, T. (1993), Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving, *Ergonomics*, **36**(9), 1007-1017.
- Kim, J. Y., and Yoon, S. Y. (2004), The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I: Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **30**(1), 44-49.
- Lorenz, J., Lorenz, B., and Heineke, M. (1992), Effect of Mental Task Load on Fronto-Central Theta Activity in a Deep Saturation Dive to 450 MSW, *Undersea Biomed. Res.*, Jul; **19**(4), 243-62.
- Milosevic, S. (1997), Drivers' Fatigue Studies, *Ergonomics*, **40**(3), 381-389.
- Min, B. C., Chung, S. C., Kim, S. K., Min, B. W., Oh, J. Y., Shin, J. S., Kim, C. J. and Park, S. J. (1999), "Physiological Change of Passenger according to Driving Condition and Road Curvature", Proceeding of the 1999 Autumn Joint Congress of Korean Institute of Industrial Engineers/Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 1209-1212.
- Richter, P., Wagner, T., Heger, R., and Weise, G. (1998), Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads-a quasi-experimental field study, *Ergonomics*, **41**, 593- 609.
- Roscoe, A. H. (1993), Heart Rate as a Psychophysiological Measure for In-flight Workload Assessment, *Ergonomics*, **36**(9), 1055-1062.
- Shin, Y. K., Lee, K. H. and Kang, S. C. (1996), Effect of Highway Geometric Characteristics on Driver Behavior, Road Traffic Safety Authority.
- Sterman, M. B., Boyer, D. J., and Schroeder, D. (1994), Blink rate: A possible measure of fatigue, *Human Factors*, **36**, 285-297.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., Sjoberg, L., and Olsson, S. (1997), Information Complexity-Mental Workload and Performance in Combat Aircraft, *Ergonomics*, **40**(3), 362-380.
- Torsvall, L., and Akerstedt, T. (1983), Sleepiness and irregular work hours, *Sleep Research*, **12**, 376.
- Waard, D. D., Jessurun, M., and Steyvers, J. J. M. F. (1995), Effect of Road Layout and Road Environment on Driving Performance, Drivers' Physiology and Road Appreciation, *Ergonomics*, **38**(7), 1395-1407.