

돌발상황에 따른 연령별 운전자 생리반응 비교를 위한 생체신호 추출, 선정 및 정량화

배준형¹⁾ · 원웅재²⁾ · 손준우³⁾

대구경북과학기술연구원 미래산업융합기술연구부

Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification for Driver Physiological Signal of Ages under Unexpect events

Junhyung Bae¹⁾ · Woongjae Won²⁾ · Joonwoo Son³⁾

*¹⁻³⁾Division of Advanced Industrial Science & Technology, Daegu GyeongBuk Institute of Science & Technology(DGIST),
711 Gongdanbu2gil, Dalseo-gu, Taegu 702-230, Korea

Abstract : This paper is to collect young and older ages man driver's physiological signal under unexpected events and quantify physiological variables for diagnostic approach. The physiological signal is collected from driving simulator with measuring devices. The collected data were analyzed by the temporal pattern during simulated driving accident conditions. We investigated status a various physiological signals using autonomic nerve system such as PPG(peripheral plethysmograph), SCL(skin conductance level), SCR(skin conductance response), RSP(respiration), HR(heart rate). Three physiological signal with consistent pattern were selected and quantified in terms of slope and amplitude of the signal. The result of the paper can be used to design a system to monitor the driver's safety and health condition.

Key words : Driver's physiological signal(운전자 생체신호), Quantification(정량화), Diagnostic Approach(진단적 접근방법), Autonomic nerve system(자율신경계), Unexpect events(돌발상황)

Nomenclature

PPG : peripheralplethysmograph

SCL : skin conductance level

SCR : skin conductance response

RSP : respiration

HR : heart rate

1. 서 론

UN은 전체인구 중 65세 이상 고령인구 비율이

7% 이상, 14% 미만인 사회를 고령화 사회, 14%이상인 사회를 고령 사회, 20%이상인 사회를 초고령 사회로 보고 있다(통계청, 2004). 우리나라는 평균수명의 연장 및 출산율 감소로 인하여 지난 2000년 전체 인구 중 65세 이상이 차지하는 비율이 7.2%로 고령화 사회에 접어들었으며, 2019년에는 14.4%로 고령사회에 진입하고, 2026년에는 20%로 초고령 사회에 도달할 것으로 전망하고 있다(통계청, 2004).

고령인구의 증가와 함께 고령자의 운전면허 취득도 증가하고 있는데 고령자의 운전면허 연평균 증가율을 보면 60대가 16.8%이고 70대가 23%로 전체 인구의 평균인 6.8%보다 3배 정도 높은 증가율을 보이고 있다. 이렇게 고령자의 운전면허 취득이 증가

* 배준형, E-mail: baejunh@dgist.ac.kr.

하면서 고령운전자의 교통사고도 늘고 있다. 65세 이상의 고령운전자들이 일으킨 사고는 92년 1,008 건에서 매년 꾸준히 증가하여 2003년에는 4,562건으로 4.5배 증가하였다. 고령운전자와 고령운전자 교통사고가 꾸준히 증가하고 있는 실정으로 볼 때 고령운전자에 대한 연구의 필요성이 커지고 있다.

최근 증가하고 있는 고령운전자의 교통사고를 줄일 수 있는 고령운전자 맞춤형 안전 시스템을 개발하기 위하여 국내외적에서는 뇌파(EEG) 측정을 통해 운전자의 각성, 졸음과 피로도를 측정하고자 하는 연구나(Kecklund and Akersted, 1993; Brookhuis and Waard, 1993; Gundel et al., 1995), 운전자의 눈깜박임이나, 심장박동수와 운전자의 정신부하 간의 상관성 연구와 같은 생체신호를 이용한 고령운전자의 운전 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Waard et al., 1995; Milosevic, 1997; Gobel et al., 1998; Richter et al., 1998).

하지만 이러한 기존 연구에서는 운전자 생체신호의 기술통계적인 수치를 기술하는 방법을 사용하고 있기 때문에 생체신호 변이도가 너무 커, 돌발상황에 따른 생리반응을 판단하기에 어려움이 있다.

따라서 평균과 표준편차를 이용하던 결정적 접근방법(deterministic approach) 대신 진단적 접근방법(diagnostic approach)을 사용하고, 이를 통해 운전자의 돌발상황에 대한 반응을 평가할 수 있는 생체신호 변수를 선정하고 정량화하였다.³⁾

본 연구에서는 운전 행동 및 부하 측정 시스템을 개발하기 위해서 가상운전 시뮬레이션 시험시설 구축을 하였으며, 운전자들의 데이터를 확보하여 운전상황의 변화에 따른 자율신경계의 반응을 알아보고 반응을 잘 나타내는 생체신호를 선정 및 정량화하였다. 자율신경계에 의해 제어되는 말초혈관 반응, 피부전도도, 호흡, 심박수의 생리신호와 돌발상황 간의 관계를 살펴봄으로써, 시뮬레이션 환경 하에서 인간의 긴장/이완 상태를 객관적으로 추출, 정량화할 수 있음을 보여주고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 기존연구를 통한 1차 생체신호 변수 선정

기존연구에서는 속도가 증가할 경우와 급출발/급제동의 경우 피부전도도가 증가한다고 알려져 있다. 피부전도도는 교감 신경의 활동으로 인하여 피부에 땀이 분비가 되면 증가하게 된다. 또한 공격적 운전장면에 대하여 심박수, 말초혈관 반응이 감소하였고, 암산 수행시 피부전도도 수준이 증가한다고 하였다. 스트레스와 소음이 제시될 경우 피부전도도와 말초혈관 반응이 감소한 반면, 심박수는 증가 경향이 나타난다고 하였다. 또한 피부전도도, 심박수, 말초혈관 반응을 휴식, 스피치 준비/수행 중/수행 후 회복기간으로 분류하여 측정한 결과, 스피킹 task 수행시 말초혈관 반응 감소, 작업(task) 수행 시 피부전도도의 진폭과 빈도가 증가한다고 알려져 있다.⁶⁾

1차 생체신호 변수는 기존 연구결과를 바탕으로 돌발상황에 민감하게 반응하는 생체신호 변수를 선정하였다. 자율신경계 생체신호분석에 있어서 주로 각 생체신호의 크기를 바탕으로 변화량을 관찰하여 분석한 연구가 이루어졌고, 자율신경계 생체신호 중에서 부하(workload)를 잘 반영하는 말초혈관 반응(PPG), 피부전도도(SCL, SCR), 호흡(RSP), 심박수(HR)를 1차 생체신호 변수로 선정하였다.

2.2 운전 시뮬레이션 실험을 통한 2차 생체신호 변수 선정

기존 연구를 통해 선정된 변수를 중심으로 실험을 실시하였으며, 그 중 돌발상황에 일정한 패턴을 나타낸다고 판단되는 생체신호 변수를 선정하였다.

2.2.1 피실험자

총 32명(20대 남자 16명, 60대 남자 16명)의 피실험자가 실험에 참가하였으며, 운전경력 3년 이상이고 주 2회 이상 운전을 하며, 과거 6개월동안 심장질환으로 인해 입원하거나 치료를 받은 적이 없고, 경련 방지제, 면역 억제제, 진정제, 신경 안정제 등의 의약품을 복용하지 않았으며, 운전 시뮬레이션 실험에 참가한 경험이 없는 신체 건강한 정상인을 대

상으로 하였다. 피실험자는 실험 전에 전극(electrode)을 부착하고 운전석에 앉아 편안한 자세를 취한 후 실험에 대한 간단한 설명과 운전 시뮬레이터 작동하는 법, 주행 방법 등의 주의사항을 듣고 실험에 임한다. 실험 절차에 피실험자들이 피로가 누적되지 않도록 하기 위하여 2번의 충분한 휴식 시간을 두도록 하였다.

2.2.2 실험장비

본 연구의 실험차량은 mercedes-benz사의 smart 차량을 사용하였다. 본 차량에 운전자의 생리신호를 수집하기 위한 생리신호 측정 장비와 외부 운전 환경을 생체신호 분석과 함께 고려하기 위한 장비를 장착하였다.

생리신호를 수집하기 위한 장비로는 NeuroDyne 사의 MEDAC System/3 시스템을 사용하였다. 이 장비는 총 8채널(EMG 1채널, EKG 1채널, SKT 1채널, PPG 1채널, EDA 2채널, RSP 1채널, 기타 1채널)을 측정할 수 있다. 말초혈관 반응을 측정하기 위해서 센서로부터 입사되는 적외선이 혈액에 흡수되거나 반사되는 양을 측정하여 혈류량 및 심박율을 기록 할 수 있는 photosensor를 사용하였으며, 피부전도도를 측정하기 위하여 피부표면의 체액(전해질) 분비 정도에 따라 변화하는 피부저항의 크기를 미세 전류를 통하여 그 지수를 측정하는 Ag 또는 AgCl를 이용한 전극(electrode)을 사용하였고, 심박수를 측정하기 위하여 3개의 female snap connector에 전극(electrode)을 연결하여 사용하였다. MEDAC의 소프트웨어 프로그램은 자동으로 데이터를 수집하고 Text파일로 언제라도 결과를 출력할 수 있게 해준다. 각 센서의 신호 측정은 250hz로 하였다.

이외에도 실험차량에는 수집된 정보의 제시 및 저장을 위해 PC 2대, 모니터, 스크린 등이 설치되었으며, 시스템이 설치된 차량의 모습과 생체신호 획득 모습을 각각 photo 1과 photo 2과 같이 나타내었다.

차량 내부의 온도는 에어컨 시설을 이용하여 20도 정도로 유지하여 피실험자에게 쾌적한 상태를 유지하도록 하였다.



Photo. 1 Driving Simulator Environment

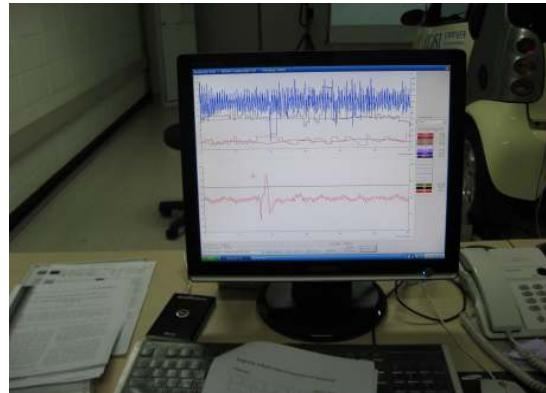


Photo. 2 Raw data acquisition

2.2.3 실험구간

실험구간은 돌발상황 20초 전 구간, 돌발상황 구간, 돌발상황 20초 후 구간으로 설정하였다. 구간은 1차선 직선도로이며 돌발상황은 주행 중 동물이 갑자기 뛰어드는 상황으로 설정하였다.

2.2.4 실험과정

실험을 실시하기 전에 실험참가자에게 실험의 목적과 과정을 설명한 후, 표면전극 부착 등으로 인한 새로운 운전환경에 적응시키기 위해 약 20분 동안 시뮬레이터에서 연습을 실시하고, 피실험자의 인체 계측 자료(키, 몸무게 등), 운전경력, 주관적인 건강 상태, 주관적인 심리상태, 운전습관 등에 관한 설문 조사를 실시하였다. 또한 실제 실험을 시작하기 전에 운전자의 안정상태의 생체신호를 약 5분간 측정한 후, 전극을 부착한 상태로 가상 도로주행을 실시하게 하였다.

자료수집의 정밀도를 높이기 위하여 실험조건을 다음과 같이 정의하였다. 실험 중에 운전자는 실험자와 대화를 할 수 없도록 하였고, 위급사항이 발생될 경우에는 운전자가 실험자에게 도움을 요청할 수 있도록 하였다. 또한, 대화 이외에 음악을 듣거나, 음식물 섭취 등과 같은 생체신호에 영향을 미칠 수 있는 모든 활동을 금지하였다.

2.2.5 돌발상황에 반응하는 생체신호 패턴 추출

기존 연구고찰에서 선정된 1차 생체신호 파라미터들 중에서 일정한 패턴을 나타내는 생체신호를 2차로 선정하였다. 운전자의 생체신호를 10초 단위로 세분화하여 50초 동안의 생체신호 패턴 변화를 살펴보고, 일정한 패턴을 나타내는 생체신호를 선정하였다. 생체신호 선정 시간의 단위는 실험적으로 10초로 선정하였고, 생체신호의 유형에 따라 추후 수정이 가능할 것이다.

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 1와 같다.³⁾

2.3 운전자 생체신호 분석 파라미터 선정 및 정량화

2.3.1 생체신호 변화 패턴의 정량화

정규화된 생체신호를 50초동안 10초 간격으로 구분하고, 개인별 생체신호 크기값의 변화를 기울기(slope)로 계산하여, 시간변화에 따른 생체신호의 변화 경향으로 정의하였다. 측정하고자 하는 구간에서의 기울기는 다음의 식(1)과 같이 계산되어진다.

$$\text{신호의 변화} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i}{X_i} \right| \quad (1)$$

i = 세부분석구간

n = 세부 분석 구간의 셀 수

X_i = 시간의 변화

Y_i = 생체신호의 변화 크기

2.3.2 생체신호 크기의 정량화

생체신호의 크기는 자율신경계 생체신호의 경우 RMS분석을 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(2)과 같은 방법을 사용하였다.

$$\text{Normalized Amplitude of Signal} \quad (2)$$

$$= \frac{\text{Signal}_{Task} - \text{Signal}_{Rest}}{\text{Signal}_{Rest}}$$

Signal_{Task} = 운전 중 측정된 생체신호

Signal_{Rest} = 휴식 시 측정된 생체신호

운전상황에 따른 생체신호를 분석하기 위하여 피부전도도, 말초혈관 반응, 호흡, 심박수에 대하여 정규화된 값으로 기술통계량(평균값, 표준편차)을 계산한 후 비교하였다.

3. 최종 생체신호 변수 선정

생체신호 파라미터를 통해 정량화된 운전자의 생체신호에 대해 타당성 평가를 실시하였다. 타당성 평가는 첫째, 기존 연구 결과와의 일치성을 판단하

Table 1 Physiological sensor attachment and pattern of signal

생체신호	센서부착부위	생체신호 패턴
PPG	왼쪽 관자놀이	돌발상황에서 급격하게 하강 후 상승
SCL	왼손 중지와 약지	돌발상황에서 급격하게 상승 후 하강
SCR	왼손 중지와 약지	돌발상황에서 급격하게 상승 후 하강
RSP	가슴과 복부 사이	구간에 따른 일정한 패턴이 없음
HR	양쪽 쇄골 부위와 왼쪽 가장아래 늑골 부위	구간에 따른 일정한 패턴이 없음

고, 둘째, 돌발상황에 따른 일관된 증감패턴이 나타나는가를 조사하였다. 이러한 두 가지 평가기준을 만족하는 파라미터를 최종 3차 파라미터로 선정하였다.

3.1 생체신호 변화를 이용한 3차 생체신호 선정

사고취약지점이 포함되어 있는 10초 동안의 구간과 이 구간 전후로 각 20초 동안의 구간을 포함하는 총 50초 동안에 대한 분석을 실시하여 일관된 경향을 보이는 신호를 선정하였다.

생체신호 반응의 기울기를 돌발상황 전후 구간, 돌발상황 구간으로 나누어 분석한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 기존 연구결과와 비교한 결과 및 일관된 변화패턴을 나타내는지를 살펴보았다.

자율신경계 생체신호 중 기울기 변화 패턴이 기존 연구결과와 일치하고 일관된 변화패턴을 보이는

신호는 PPG, SCL인 것으로 나타났다. SCR의 경우, 20대는 돌발상황에서 생체신호의 변화가 상대적으로 높게 나타났으나 60대는 뚜렷한 변화를 발견할 수 없었다. RSP와 HR의 경우, 기준 연구결과의 패턴과 일치하지 않았다.

3.2 생체신호 크기를 이용한 3차 생체신호 선정

연령별 생체신호 반응의 크기에 대하여 분석한 결과를 보면, 자율신경계의 PPG, SCL, SCR만이 돌발상황 구간에서 높은 긴장도 또는 각성상태를 나타냈으며, 돌발상황에 따라 어느 정도 일관된 경향성을 가지는 것으로 나타났다. 운전자의 생체신호의 크기를 분석한 결과를 Table 3에 나타내었으며, PPG, SCL, SCR를 제외하고는 신뢰성 있는 평가가 이루어지기 힘든 것으로 판단되었다.

Table 2 Quantification for slope of physiological signal

생체신호	연령	돌발상황 전후 구간의 기울기 평균과 편차	돌발상황인 구간의 기울기 평균과 편차
PPG	20대	0.00065±0.00943	0.00172±0.02769
	60대	0.00023±0.06193	0.00038±0.08222
SCL	20대	0.00227±0.03118	0.00640±0.02899
	60대	0.00556±0.04415	0.00691±0.02719
SCR	20대	0.00930±0.05013	0.27433±0.05186
	60대	0.03016±0.03612	0.02141±0.02959
RSP	20대	0.00307±0.38765	0.00233±0.63234
	60대	0.00413±0.05319	0.00127±0.06394
HR	20대	0.01433±0.00984	0.00287±0.03875
	60대	0.00705±0.01759	0.01367±0.02916

Table 3 Quantification for amplitude of physiological signal

생체 신호	연령	돌발상황 20초 전의 크기의 평균 과 편차	돌발상황 10초 전의 크기의 평균 과 편차	돌발상황일 때 의 크기의 평균과 편차	돌발상황 10초 후의 크기의 평균 과 편차	돌발상황 20초 후의 크기의 평균 과 편차
PPG	20대	-0.01320±0.48380	-0.00906±0.50527	-0.01482±0.32336	-0.01482±0.41838	-0.01724±0.34548
	60대	-0.11502±0.26089	-0.11337±0.49620	-0.11647±0.60296	-0.11570±1.31841	-0.11499±0.93441
SCL	20대	-0.12600±0.20283	-0.13064±0.47480	-0.08451±0.37281	-0.10244±0.18489	-0.12050±0.22481
	60대	-0.20392±0.07336	-0.15580±0.44676	-0.10897±0.24105	-0.13130±0.17481	-0.13884±0.10669
SCR	20대	0.05340±0.39584	0.02050±0.85658	0.13402±0.65225	-0.02678±0.33796	-0.08691±0.29738
	60대	-0.13138±0.30777	0.12270±0.59970	0.11656±0.60814	-0.0914±0.32063	-0.13898±0.25130
RSP	20대	-0.08450±6.57989	-0.05527±5.10372	-0.03930±1.06125	-0.03190±3.34221	-0.03335±0.94195
	60대	-0.14817±0.44579	-0.13170±0.85966	-0.14221±0.56189	-0.13997±0.90356	-0.11503±0.78544
HR	20대	-0.03180±0.40756	0.04372±0.44256	0.03176±0.62522	0.01503±0.42033	0.08282±0.35678
	60대	-0.01483±0.50733	-0.03442±0.38652	-0.10705±0.49233	-0.04291±0.30651	-0.09385±0.36168

4. 최종 생체신호 변수의 선정 및 해석

돌발상황에 따라 분석한 결과를 바탕으로 운전자의 생리상태를 민감하게 반영하는 생체신호변수를 선정하였다. 선정기준은 기존 연구결과와 일치하며 돌발상황에 따라 일관성 있게 변화하는 생체신호를 선정하였다. 총 3개의 생체신호 변수가 선정되었으며, 돌발상황이 발생할 때의 생체신호 변화 패턴을 각각 Table2와 Table3에 정리하였다.

운전자가 급제동을 할 때 SCL, SCR는 상대적으로 높아지므로 교감신경계의 상대적인 비는 증가하였다. 이것은 운전자의 긴장이 피부표면에 땀과 같은 전해질을 배출하는 것으로 판단된다. PPG의 경우 돌발상황에 따른 생체신호의 변화는 운전환경변화로 인하여 반응이 감소하는 경향으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존 연구와 시뮬레이션 실험을 통하여, 연령별 운전자의 생체신호와 주변 운전환경이 상호연관성이 있다고 판단되는 변수를 발견하기 위한 시도를 하였다. 그리고 차량 환경에서 운전 및 도로상황의 변화에 따른 자율신경계의 반응을 알아보고자 하였다. 이러한 과정에서 시간변화에 따라 일정한 생체신호 패턴이 나타나는 현상을 관찰할 수 있었고 개인별 생리신호 자체가 가지고 있는 변이도를 줄이기 위하여 패턴을 정규화하였다. 생체신호의 정량화 방법으로는 진단적 접근방법을 사용하였고, 돌발상황 구간 전후 각각 20초와 돌발상황 구간 10초의 총 50초동안 수집된 생체신호 패턴의 시간적 변화를 나타내는 기울기값과 생체신호의 크기값을 이용하였다.

연구 결과 운전자의 생리신호의 차이가 운전자의 도로환경변화상에서의 긴장도의 높고 낮음을 어느 정도까지 표현해줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이로 인해, 자율신경계에 의해 제어되는 생리신호인 피부전도도, 말초혈관 반응의 생리신호와 긴장/이완파의 관계를 살펴봄으로써, 운전 환경에서 생리 반응을 객관적으로 추출, 정량화할 수 있음을 보여주었다.

결론적으로 돌발상황에 따른 생리 반응에는 생체신호의 크기를 나타내는 변수와 생체신호 변화의 양을

나타내는 변수가 동시에 사용되어, 크기 변수만을 사용하던 이전의 연구에 비해 운전자의 생리상태를 보다 정확하게 측정해 낼 수 있었고, 이를 통해 도로환경변화에 대한 평가가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 추후 이러한 측정방법을 이용하여 운전자에게 건강정보, 안전운전 정보, 출음운전 정보 등을 줄 수 있는 시스템으로의 개발이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 “대구경북과학기술연구원” 기관고유연구사업비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) J.H. Bae, M.H. Kim, J.W. Son, "Development of the Simulator for Older Driver Behavior Analysis", Proceedings of Korean Society for Precision Engineering, pp343-344, 2007.
- 2) J.Y. Kim, S.Y. Yoon, J.S. Park, "The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I : Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.30, No.1, pp.44-49, 2004.
- 3) J.Y. Kim, S.Y. Yoon, J.S. Park, "The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility II : Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.30, No.1, pp.50-57, 2004.
- 4) Jennifer A. Healey, Rosalind W. Picard, "Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors", IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, Vol.6, No.2, 2005.
- 5) Jeffrey B. Brookings, Glenn F. Wilson, Carolyne R. Swain, "Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control", Biological Psychology, 42, pp.361-377, 1996.
- 6) J.Y. Kim, M.C. Whang, J.S. Park, S.Y. Yoon, "Anaylsis of Optimal and Pleasant Driving Condition using Physiological Signals", Korean Society for Emotion & Sensibility, Vol.7, No.3, pp.27-35, 2004.