

Development of a Classification Model for a Driver's Drowsiness and Wake Status using Heart Rate Variability and Respiratory Features

ABSTRACT

Objective: This study was to evaluate the features of Heart rate variability (HRV) and respiratory signals as indices for driver's drowsiness and wake status and to develop the classification model for driver's drowsiness and wake status using those features.

Background: Driver's drowsiness is one of the major causal factors for traffic accidents. This study hypothesized that application of combined bio-signals to monitor alertness level of drivers would improve the effectiveness of classification techniques of driver's drowsiness.

Method: The features of three Heart rate variability (HRV) measures including Low frequency (LF), High frequency (HF), and LF/HF ratio and two respiratory measures including peak and rate were acquired by the monotonous car driving simulation experiments using Photoplethysmogram (PPG) and respiration sensor. The experiments were repeated a total of 50 times by five healthy male participants in 20s to 50s. The classification model was developed by selecting the optimal measures, applying binary logistic regression method, and performing 3-fold cross validation.

Results: The power of LF, HF, LF/HF ratio, and respiration peak of drowsiness status was reduced by 38%, 22%, 31%, and 7% comparing to those of wake status respectively; while, respiration rate was increased by 3%. The classification sensitivity (91.4%) of the model using both HRV and respiratory features was improved comparing to that (89.8%) of the model using only HRV features and that (83.6%) of using only respiratory features.

Conclusion: This study suggest that classification of driver's drowsiness and wake status may be improved by combination of HRV and respiratory features.

Application: The results of this study can be applied to the development of driver's drowsiness prevention systems.

Keywords

Driver's drowsiness, Photoplethysmogram (PPG), Respiration, Classification model, Heart rate variability (HRV)

1. Introduction

운전자의 졸음은 치명적인 교통사고를 유발하는 주요 원인 중 하나이다. 한국도로공사(2015)에 따르면, 최근 5년간 발생한 교통사고 13,873건 중 졸음으로 인한 사고는 2,752건(20%)으로 상당한 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 졸음운전 사고는 정오부터 오후 3시까지의 시간대에서 가장 많이 발생하며, 피로누적, 식곤증 등이 주요 원인으로 알려져 있다(교통안전공단, 2015). 운전자 졸음으로 인한 교통사고 치사율은 교통사고 전체 평균 치사율에 비해 2배 이상 높기 때문에(도로교통공단, 2011), 졸음운전 사고 예방이 중요하며, 이를 위해서는 운전자의 졸음을 판별하는 기술 개발이 필요하다.

운전자의 졸음을 판별하는 기술은 Figure 1과 같이 크게 주행상태 기반, 행동상태 기반, 그리고 생체신호 기반 판별 기술 3가지로 구분할 수 있다(Kang, 2013; Saini and Saini, 2014). 먼저, 주행상태 기반 판별 기술은 운전자의 차선 이탈 정도, 핸들 조작 정도 등을 통해 졸음 유무를 판단하는 기술로(Fairclough and Graham, 1999; Inger et al., 2006), 비침습적이거나 정확성이 낮다는 단점을 가지고 있다. 다음으로, 행동상태 기반 판별 기술은 운전자의 눈꺼풀 감김 횟수, 고개 움직임 횟수 등을 통해 졸음 유무를 판단하는 기술로(Bergasa et al., 2006; Murphy-Chutorian and Trivedi, 2010), 비침습적이고 사용이 용이하나 주변환경에 영향을 많이 받는다는 단점을 가지고 있다. 마지막으로, 생체신호 기반 판별 기술은 운전자의 EEG(Electroencephalogram), ECG(Electrocardiogram), EMG(Electromyogram) 센서 등으로 획득된 운전자 생체신호를 통해 졸음 유무를 판단하는 기술로(Liu and Zhang, 2010; Patel et al., 2011), 정확성이 높지만 침습적이고 자동차 내부와 같은 제한된 환경에서 생체신호를 획득하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 특히, 생체신호 기반 판별 기술은 다른 판별 기술에 비해 운전자의 상태를 정량적으로 분석 가능하고 보다 높은 신뢰성으로 판별 가능하기 때문에(Sahayadhas et al., 2012), 운전자 졸음 판별 연구에서 널리 활용되고 있다.

기존 생체신호 기반 판별 기술 연구들은 운전자의 졸음을 효과적으로 판별하기 위해 다양한 생체신호를 활용하고 있으나, 침습성, 정확성 측면에 대한 고려가 미흡하였다. 예를 들어, Fu et al. (2012)은 EEG 센서를 운전자의 머리 부위에 부착하여 뇌파 특성을 파악하고자 하였고, Miyaji (2014)은 ECG 센서를 가슴 부위에 부착하여 심박변이도 특성을 분석하고자 하였다. 또한, 기존 연구들은 주로 뇌파, 심박변이도 등과 같이 특정 생체신호 척도만을 활용하여 운전자의 졸음을 판별하고자 하였다(Lewicke et al., 2005; Shin et al., 2010; Sukanesh and Vijayprasad, 2013; Werteni et al., 2014). 따라서, 운전자의 졸음을 효과적으로 판별하기 위해서는 PPG(Photoplethysmogram), 호흡 센서 등을 활용하여 침습성을 최소화할 필요가 있다. 한편, 심박변이도, 호흡 등과 같은 척도는 인간의 스트레스, 피로, 졸음 등의 변화를 나타내는 자율신경계 활동을 반영하는 것으로 알려져 있어(Vicente et al., 2011), 이를 복합적으로 활용하면 보다 정확히 졸음을 판별할 수 있다.

본 연구는 효과적인 운전자 졸음 판별을 위하여 운전자 상태에 따른 심박변이도 및 호흡 척도의 특성을 분석하고, 운전자 졸음 판별 모형을 개발하고자 한다. 운전자 상태(각성, 졸음)에 따른 3가지 심박변이도 척도(LF, HF, LF/HF ratio)와 2가지 호흡 척도(peak, rate)의 특성은 실험 참여자가 PPG 및

호흡 센서를 부착 후 졸음 유도를 위한 단조로운 자동차 모의주행 화면을 지속 주시하는 과제를 수행하면서 획득된 데이터를 통계 분석하여 파악되었다. 운전자 졸음 판별 모형은 운전자 상태별로 유의한 영향을 미치는 최적 심박변이도 및 호흡 척도를 선정하고 이항 로지스틱 회귀분석 방법을 적용하여 개발되었다.

2. Method

2.1. Participants

본 연구는 심혈관계 및 호흡계 질환이 없는 20대 중반 ~ 50대 중반의 남성 5명(38.0 ± 10.9 세)이 참여하였다. 본 연구의 실험은 실험참여자의 동의 및 IRB(Institutional Review Board) 승인 하에 진행되었다. 또한, 원활한 실험 진행을 위해 실험참여자들은 1년 이상의 운전경력이 있는 자로 선정하였고, 실험 전날 흡연, 음주 등 실험결과에 영향을 미칠 수 있는 활동을 금하게 하였다. 실험참여자 1인당 1회 실험시간은 약 40분 정도가 소요되었으며, 개인별 1일 1회로 10회 반복하여 총 50개의 케이스를 실시하였다. 실험참여자들에게는 실험 참여에 대한 동기 부여를 위해 실험참여비가 지급되었다.

2.2. Apparatus

본 연구는 2대의 24인치 모니터(Samsung Electronics, 대한민국)를 활용하여 실험참여자에게는 자동차 모의주행 화면을, 실험진행자에게는 실험참여자 상태 및 생체신호 정보 화면을 실시간으로 각각 제공하였다. 모의주행 화면은 실험참여자의 졸음을 원활히 유도할 수 있도록 차가 없는 2차선 고속도로에서 시속 100km로 직선 운전하는 단조로운 주행이 시현되도록 통제되었다. 또한, 실험참여자 상태는 모니터에 내장되어 있는 카메라를 통해 실시간으로 기록되었고, 수집된 생체신호 데이터는 추후 분석을 위해 컴퓨터에 자동 저장되도록 설정하였다. 한편, 실험참여자의 심박변이도 및 호흡 신호는 Procomp 및 BioGraph Ininiti(Thought Technology Ltd., USA) 소프트웨어의 PPG 및 호흡 센서를 사용하여 측정되었다. 특히, PPG 센서는 말초혈관의 혈류파형을 측정하는 센서로 ECG 센서와 유사한 특성을 가지고 있어 심박변이도를 간접적으로 산출할 수 있고, 손가락에 부착하여 침습성을 최소화 할 수 있다(Kim et al, 2010). 본 연구에서는 Figure 1과 같이 PPG 센서를 실험참여자의 오른손 검지에, 호흡 센서를 가슴 부분에 각각 부착하였다.



Figure 1. Physiological sensor attachment location

2.3. Experimental design

본 연구는 Figure 2와 같이 실험 공간을 생체신호 측정 영역과 생체신호 판단 영역으로 구성하여 실험참여자의 졸음 유무를 파악하였다. 생체신호 측정 영역에서는 실험참여자가 모니터로부터 60cm 거리에 위치하여 의자에 편안히 착석하도록 한 후, 모니터에 시현되는 자동차 모의주행 화면을 지속 주시하는 과제를 수행하도록 하였다. 한편, 생체신호 판단 영역에서는 실험진행자가 모니터에 시현되는 실험참여자의 상태 및 생체신호를 관찰하여 졸음 유무를 기록하였다. 졸음 유무 기준은 Kim et al.(2014)과 Heo et al.(2015) 문헌을 참고하여 2초 이상의 눈 깜빡임이 분당 3회 이상 발생 시 졸음으로 판별하였다. 실험 환경은 실험과 무관한 요인에 따른 영향을 최소화 하기 위해 온도는 20 ~ 25°C로, 습도는 40%로 유지될 수 있도록 통제되었다.

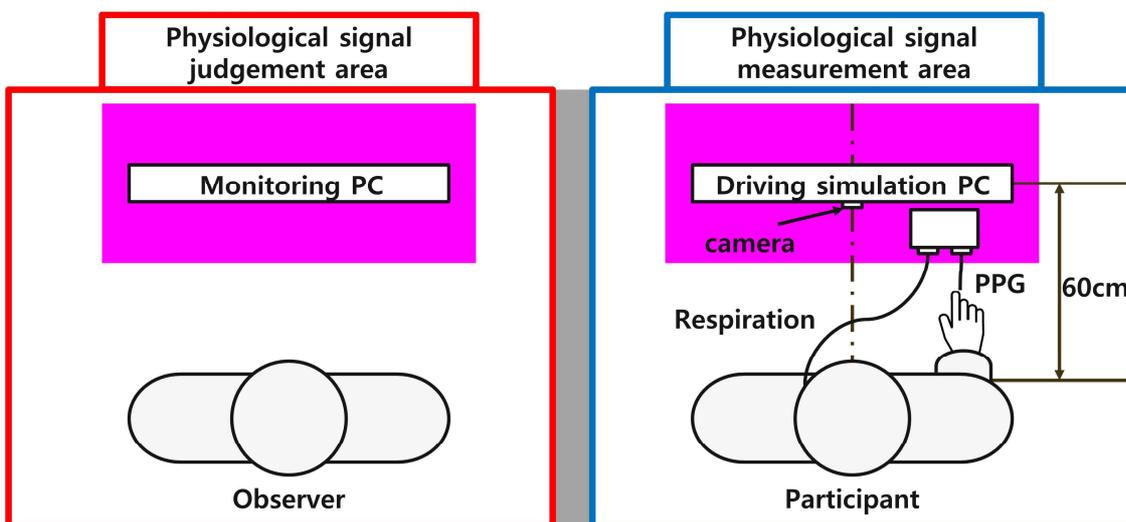


Figure 2. Layout of driver's drowsiness experiment

본 연구는 기존 연구에서 사용된 3가지 심박변이도 척도(LF, HF, LF/HF ratio)와 2가지 호흡 척도(peak, rate)를 적용하여 운전자 졸음 유무를 판별하였다. LF(Low frequency)는 심박변이도 주파수 영역의 스펙트럼 요소 중 0.04 ~ 0.15 Hz 대역의 저주파수이고 HF(High frequency)는 0.15 ~ 0.4 Hz 대역의 고주파수로, 주로 자율신경계의 교감신경계와 부교감신경계 활동을 각각 반영한다(Kim and Min, 2015). LF/HF ratio는 LF와 HF의 비율로, 자율신경계의 전체적인 균형 정도를 나타낸다(Moon et al., 2015). 한편, 호흡 peak는 호흡의 최대 크기를, 호흡 rate는 호흡 peak 간 시간적 간격을 의미하며(Park et al., 2014), 호흡 활동은 심박 활동과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Kim and Min, 2015).

본 연구의 실험은 실험 준비, 센서 부착, 본 실험, 그리고 설문 조사의 네 단계로 진행되었다. 실험 준비 단계에서는 실험참여자에게 목적, 절차 등과 같은 실험 소개 및 실험 참여 동의를 구하였다. 센서 부착 단계에서는 실험참여자에게 PPG 및 호흡 측정 센서를 부착하고, 생체신호 안정화를 위해 5분간 대기 과정을 수행하였다. 본 실험 단계에서는 각성과 졸음 조건의 심박변이도 및 호흡 신호 데이터를 각각 최소 5분 이상 수집하였다. 마지막으로, 설문 조사 단계에서는 실험 특이사항 및 실험 결과에 대한 의견을 조사하였다.

2.4. Data analysis

심박변이도 및 호흡 신호 데이터는 데이터 추출, 편집, 표준화, 분석구간 선정, 그리고 통합의 다섯 단계를 거쳐 처리되었다. 데이터 추출 단계에서는 초기 데이터가 256Hz 샘플링 주파수로 10 ~ 15분간 수집되었고 잡음 제거, 시간 및 주파수 영역 변환 등은 BioGraph Infiniti 소프트웨어 프로그램을 통해 자동으로 처리되었다. 데이터 편집 단계에서는 실험 초기 불안정 데이터를 제거하기 위해 시작부터 90초까지의 데이터를 분석에서 제외하였다. 데이터 표준화 단계에서는 실험참여자별 생체신호 데이터 크기 차이를 상쇄하기 위해 Tjolleng et al. (2015)에서 제시된 방법을 참고하여 중간값(median) 데이터로 개별 데이터를 나눈 비율값으로 데이터를 표준화하였다. 데이터 분석구간 선정 단계에서는 실험참여자의 각성 및 졸음 상태별 특성을 효과적으로 반영할 것으로 판단되는 구간을 선정하여 데이터를 추출하였다. 예를 들어, 각성 상태의 생체신호 데이터는 각성 구간 내 초반 30초의 데이터가, 졸음 상태의 생체신호 데이터는 졸음 구간 내 중반 30초의 데이터가 추출되었다. 마지막으로, 데이터 통합 단계에서는 통계적인 분석을 수행하기 위해 5명의 실험참여자가 개인별 10회 반복 실시하여 획득된 각성 및 졸음에 대한 각각 1500개 케이스의 데이터가 하나로 최종 통합되었다. 데이터 처리과정을 통해 가공이 완료된 생체신호 데이터는 운전자 상태별 유의한 차이 유무를 파악하기 위하여 통계 분석이 수행되었다. 운전자의 각성 및 졸음 상태에 따른 심박변이도 척도(LF, HF, LF/HF ratio)와 호흡 척도(peak, rate) 데이터의 차이 검정에는 관련 척도 데이터가 정규분포를 따르는 것으로 나타나 유의수준 0.05에서 paired *t*-test가 적용되었다. 통계 분석에는 SPSS(ver. 21.0) 프로그램이 활용되었다.

2.5. Classification method

본 연구는 효과적인 졸음 판별을 위한 모형 개발을 위하여 최적 변수 선정, 판별 모형 개발, 그리고 판별 모형 성능 검증 및 비교의 세 단계 절차를 적용하였다. 첫째, 최적 변수 선정 단계에는 각성-졸음 간 유의한 차이가 있는 변수들에 대하여 stepwise method ($p_{in}, p_{out}=0.05$)를 적용하였다. 둘째, 판별 모형 개발 단계에는 실험참여자 5명에 대한 각성 및 졸음 실험 데이터가 판별 모형 개발을 위한 learning 및 test set으로 활용되었다. 또한, SPSS(ver. 21.0) 프로그램을 통해 이항 로지스틱 회귀분석 방법을 적용하여 실험참여자의 상태를 각성 또는 졸음으로 판별될 수 있도록 모형을 개발하였다. 이항 로지스틱 회귀분석은 한 개 이상의 독립변수들과 두 개의 범주형 종속변수간의 관계를 설명할 수 있는 분석 방법으로, 개별 관측치들이 두 집단 중 어느 집단으로 분류될 수 있는가를 분석하는데 유용하게 활용된다(Jun, 2012). 본 연구의 이항 로지스틱 회귀분석 분류 규칙은 $P_i > 0.5$ 이면 i 번째 객체를 졸음으로 분류하고 $P_i \leq 0.5$ 이면 i 번째 객체를 각성으로 분류하는 것으로 설정하였다. 셋째, 판별 모형 성능 검증 및 비교 단계에서는 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 활용하여 개발된 모형의 성능을 검증하고, 심박변이도 및 호흡 변수를 모두 적용한 모형을 심박변이도 변수만 적용한 모형 및 호흡 변수만 적용한 모형과 성능을 비교하였다. 성능 검증을 위한 민감도와 특이도 값은 각성 및 졸음 실험 데이터 전체를 활용하여 개발된 판별 모형에서 발생할 수 있는 과적용(overfitting) 문제점을 해결하기 위해 3-fold cross validation 기법을 수행하여 산출되었다. 3-fold cross validation은 전체 데이터를 3등분하여 데이터의 2/3 부분은 learning set으로, 1/3 부분은 test set으로 활용하는 기법으로, 생성된 3가지 test set의 각 경우에 대한 판별 모형 성능을 산출한 후 평균값을 전체에 대한 판별 모형 성능으로 활용하는 방법이다(Jun, 2012).

3. Results

3.1. Difference of driver's drowsiness and wake status

본 연구의 실험 결과, Figure 3과 같이 실험참여자의 각성 및 졸음 상태 별 모든 심박변이도 및 호흡 척도 값이 유의수준 0.05에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 졸음 상태의 LF(0.99 ± 0.26)는 각성 상태의 LF(1.59 ± 1.18)에 비해 38%($MD = -0.60$) 정도 낮은 것($t[1499] = 21.43, p < .001$)으로 나타났다. 졸음 상태의 HF(1.04 ± 0.35)는 각성 상태의 HF(1.33 ± 1.30)에 비해 22%($MD = -0.29$) 정도 낮은 것($t[1499] = 9.95, p < .001$)으로 나타났다. 졸음 상태의 LF/HF ratio(0.98 ± 0.19)는 각성 상태의 LF/HF ratio(1.42 ± 0.84)에 비해 31%($MD = -0.44$) 정도 낮은 것($t[1499] = 20.44, p < .001$)으로 나타났다. 졸음 상태의 호흡 rate(1.01 ± 0.30)는 각성 상태의 호흡 rate(0.98 ± 0.63)에 비해 3%($MD = 0.03$)정도 높은 것($t[1499] = -23.06, p < .001$)으로 나타났다. 졸음 상태의 호흡 peak(1.00 ± 0.49)는 각성 상태의 호흡 peak(1.08 ± 1.56)에 비해 7%($MD = -0.08$) 정도 낮은 것($t[1499] = 22.23, p < .001$)으로 나타났다.

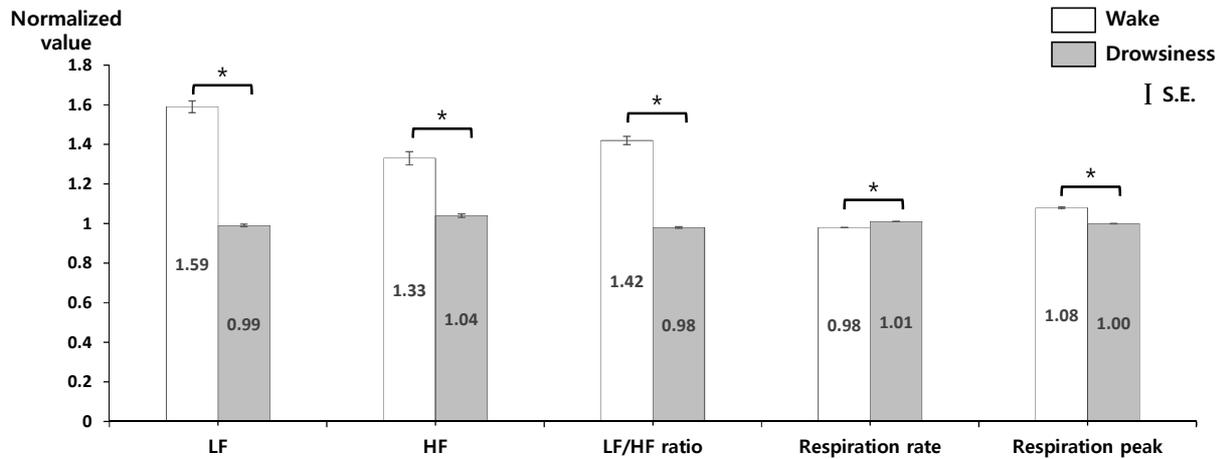


Figure 3. The results of difference between driver's drowsiness and wake status using paired-*t* test ($*p < .05$)

3.2. Development of classification model for driver's drowsiness and wake status

본 연구는 효과적인 졸음 판별을 위하여 Figure 4와 같이 이항 로지스틱 회귀분석 방법을 적용한 모형을 개발하였다. 먼저, Stepwise method를 적용한 결과, LF/HF ratio, Respiration peak, Respiration rate, HF가 순차적으로 모형 개발을 위한 최적 변수로 선정되었다. 다음으로, 선정된 최적 변수들을 모두 활용하여 개발된 이항 로지스틱 회귀 모형은 3-fold cross validation 기법을 수행하여 성능을 검증한 결과, Table 1과 같이 91.4%의 민감도로 졸음을 판별하는 것으로 나타났다. 한편, 최적 변수들 중 심박변이도 변수만 적용한 모형과 호흡 변수만 적용한 모형을 심박변이도 및 호흡 변수를 모두 적용한 모형과 성능을 비교한 결과, 심박변이도 변수만 적용한 모형은 89.8%의 민감도로, 호흡 변수만을 적용한 모형은 83.6%의 민감도로 졸음을 판별 가능하여 심박변이도 및 호흡 변수를 모두 적용한 모형보다 민감도가 다소 낮은 것으로 나타났다(Table 1).

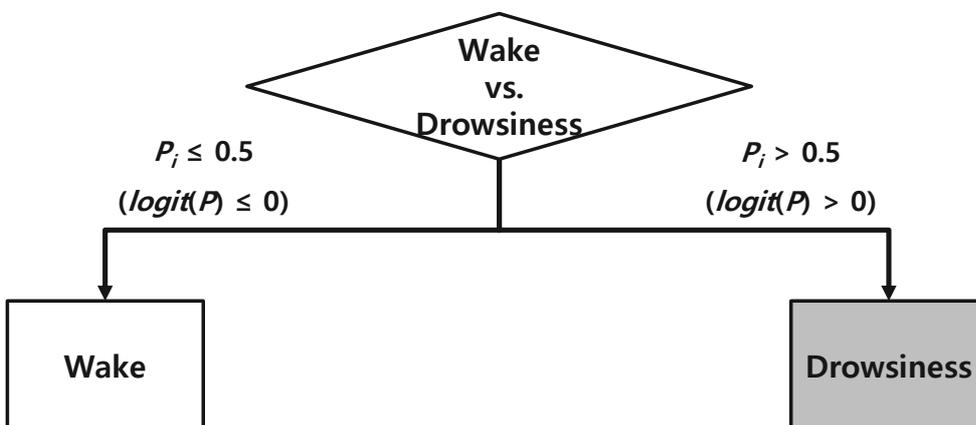


Figure 4. The results of a classification model using binary logistic regression

Table 1. Comparison of classification performance among Heart rate variability and respiration variables, only heart rate variability variables and only respiration variables using condition

Condition	Confusion matrix			Performance	
				Sensitivity	Specificity
Heart rate variability + Respiration	A \ P	wake	Drowsiness	91.4	72.4
	Wake	362	138		
	Drowsiness	43	457		
Only heart rate variability	A \ P	wake	Drowsiness	89.8	60.8
	Wake	304	196		
	Drowsiness	51	449		
Only respiration	A \ P	wake	Drowsiness	83.6	52.6
	Wake	263	237		
	Drowsiness	82	418		

Actual value was expressed as "A" and Predicted value as "P".

4. Discussion

본 연구는 운전자 각성과 졸음 상태에 따른 심박변이도 및 호흡 척도별 특성을 효과적으로 파악하기 위해 PPG 및 호흡 센서를 활용하였다. 기존 연구들은 운전자의 생리적 반응을 측정하기 위해 EEG, ECG 등의 센서를 주로 활용하였는데(Hong et al., 2014; Lee et al., 2010; Rogado et al., 2009), 이는 센서 부착 부위에 대한 실험참여자의 거부감을 유발하고 센서 부착으로 인한 실험참여자의 활동 제약을 야기시킬 수 있다. 한편, PPG 및 호흡 센서는 다른 생체신호 센서에 비해 자동차 시스템에 현실적인 구현이 용이할 것으로 사료된다. 예를 들어, Ju et al. (2015)은 HRV 측정 센서는 운전 핸들에, 호흡 측정 센서는 안전벨트에 구현하여 운전자 생체신호를 실시간으로 수집하였다. 본 연구의 PPG 및 호흡 센서를 활용한 운전자 졸음 판별 방법은 자동차 내부 환경에 효과적으로 적용 가능하여 침습성을 최소화하는데 도움을 줄 수 있다.

심박변이도 및 호흡 신호 특성 분석 결과, 졸음 상태는 각성 상태에 비해 LF, HF, LF/HF ratio, 그리고 호흡 peak가 38%, 22%, 31%, 그리고 7% 정도 유의하게 낮은 것으로, 호흡 rate는 3% 정도 유의하게 높은 것으로 파악되었다. 기존 Parikh and Patel(2014)의 연구에서는 각성에서 졸음 상태로 진행될수록 LF는 감소, HF는 증가하는 것으로 보고하였으나, 본 연구에서는 LF와 HF가 모두 감소하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 정한 분석 구간이 30초로 짧았기 때문에 심박변이도 신호의 경향성이 일부 반영되지 못하였고 HF가 빠르고 얇은 호흡일 때 감소하는 경향이 있기 때문인 것으로 판단된다(Kim and Min, 2015). 또한, 본 연구에서는 기존 Bonjyotsna and Roy(2014)의 연구 결과와 마찬가지로 각성에서 졸음 상태로 진행될수록 LF/HF ratio가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 졸음, 무기력 등과 같은 부교감신경계 활동을 반영하는 HF가 불안, 긴장 등과 같은 교감신경계 활동을 반영하는 LF에 비해 상대적으로 더 크게 감소한 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서는 각성에서 졸음

상태로 진행될수록 호흡 peak는 감소하고, 호흡 rate는 증가한 것으로 파악되었는데, 이는 기존 Park et al.(2014)의 연구 결과와 동일한 것으로 파악되었다.

본 연구는 최적 심박변이도 및 호흡 변수를 선정하고 이항 로지스틱 회귀분석 방법을 적용하여 운전자 졸음 판별 모형을 개발하였다. 3-fold cross validation 기법을 수행하여 성능을 검증한 결과, 선정된 심박변이도 및 호흡 변수들을 모두 활용하여 개발된 이항 로지스틱 회귀 모형은 91.4%의 민감도로 졸음을 판별하는 것으로 나타난 반면, 심박변이도 변수만 적용한 모형은 89.8%의 민감도로, 호흡 변수만을 적용한 모형은 83.6%의 민감도로 각각 졸음을 판별하는 것으로 나타났다. 따라서, 생체신호의 복합적인 활용은 특정 생체신호의 단독적인 활용에 비해 운전자의 졸음 유무를 보다 정확히 파악할 수 있는 것으로 판단된다. 한편, Karlen et al. (2009)의 연구에 따르면, 모형의 판별 역치값(threshold)을 조정하면 모형의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

본 연구는 추후 성별, 나이 등을 고려한 다수의 운전자를 대상으로 실제 운전 환경에서 실험을 수행하고, 기존 운전자 판별 기술을 종합적으로 적용하는 연구가 필요하다. 본 연구는 1년 이상의 운전경력이 있는 20대 중반 ~ 50대 중반의 남성 5명을 대상으로 자동차 모의주행 화면을 지속 주시하는 실험을 수행하였으나, PPG 및 호흡 센서를 활용한 운전자 졸음 판별의 효용성을 검증하기 위해서는 보다 많은 인원의 운전자를 대상으로 실제 운전 환경에서의 실험이 요구된다. 또한, 본 연구는 생체신호를 기반으로 졸음을 판별하는 연구를 수행하였으나, 졸음 판별의 정확성 향상을 위해서는 생체신호뿐만 아니라 운전자 주행상태 및 행동상태 기반 기술에 대한 포괄적인 고려가 필요하다. 효과적인 운전자 졸음 판별을 위해 주행상태, 행동상태, 그리고 생체신호 기반 기술이 종합적으로 고려되면, 향후 지능형 자동차를 위한 운전자 졸음 방지 시스템을 개발하는데 기여할 수 있다.

Acknowledgements

본 연구는 민군협력진흥원의 민군협력연구지원사업(12-DU-EB-01)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bergasa, L.M., Nuevo, J., Sotelo, M.A., Barea, R. and Lopez, M.E., Real-time system for monitoring driver vigilance, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(1), 63-77, 2006.
- Bonjyotsna, A. and Roy, S., Correlation of drowsiness with electrocardiogram: A review, *International Journal of Advanced Research in Electronical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(5), 9538-9544, 2014.
- Fairclough, S.H. and Graham, R., Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: A comparative study, *Journal of Human Factors and Ergonomics*, 41, 118-128, 1999.
- Fu, C.L., Li, W.K., Chun, H.C., Tung, P.S. and Chin, T.L., Generalized EEG-Based Drowsiness Prediction

System by Using a Self-Organizing Neural Fuzzy System, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 59(9), 2044-2055, 2012.

Heo, Y.S., Lee, J.C. and Kim Y.N., Analysis and processing of driver's biological signal of workload, *Journal of the Korea Society of Industrial Information Systems*, 20(3), 87-93, 2015.

Hong, W.G., Lee, W.S., Jung, K.H., Lee, B.H., Park, J.W., Park, S.W., Park, Y.S., Son, J.W., Park, S.K. and You, H.C., Development of an evaluation method for a driver's cognitive workload using ECG signal, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 40(3), 325-332, 2014.

Inger, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A. and Kecklund, G., Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences, *Journal of Sleep Research*, 15, 47-53, 2006.

Ju, J.H., Park, Y.J. and Park, J.H., Lee, B.G., Lee, J.C. and Lee J.Y., Real-time driver's biological signal monitoring system, *Sensors and Materials*, 27(1), 51-59, 2015.

Jun, C.H., *Techniques and application of data mining*, Hannarae, Korea, 2012.

Kang, H.B., Various approaches for driver and driving behavior monitoring: A review, In *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, 616-623, 2013.

Karlen, W., Mattiussi, C. and Floreano, D., Sleep and wake classification with ECG and respiratory effort signals, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 3(2), 71-78, 2009.

Kim, B.S. and Min J.A., *Application and interpretation of HRV in stress clinic*, Panmun education, Korea, 2015.

Kim C.J., Whang, M.C., Kim, J.H., Woo, J.C., Kim, Y.W. and Kim, J.H., A study on evaluation of human arousal level using PPG analysis, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 113-120, 2010.

Kim, M.S., Kim, Y.N. and Heo, Y.S., Characteristics of Heart Rate Variability Derived from ECG during the Driver's Wake and Sleep States, *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, 22(3), 136-142, 2014.

Korea Road Traffic Authority, *Statistics of Drowsy Driving Accident*, 2011.

Korea Transportation Safety Authority, *Survey of Drowsy Driving*, 2015.

Korean Expressway Corporation, *Current State of Car Accident*, 2015.

Lewicke, A.T., Sazonov, E.S., Corwin, M.J. and Schuckers, S.A.C., Reliable determination of sleep versus wake from heart rate variability using neural networks, In *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, 2394-2399, 2005.

Lee, W.S., Park, J.W., Kim, S.J., Yoon, S.H., Yang, X., Lee, Y.T., Son, J.W., Kim, M.H. and You, H.C., Development of an analysis system for biosignal and driving performance measurements, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 47-53, 2010.

Liu, J. and Zhang, C., EEG-based estimation of mental fatigue by using KPCA-HMM and complexity parameters, *Biomedical Signal Processing and Control*, 5(2), 124-130, 2010.

Miyaji, M., Method of drowsy state detection for driver monitoring function, *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 4(4), 264-268, 2014.

Moon, K.S., Hwang, K.I., Choi, E.J. and Oah, S.Z., Study on prevention of drowsiness driving using electrocardiography(LF/HF) index, *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(2), 56-62, 2015.

Murphy-Chutorian, E. and Trivedi, M.M., Head pose estimation and augmented reality tracking: An integrated system and evaluation for monitoring driver awareness, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(2), 300-311, 2010.

Parikh, A. and Patel, H., Drowsy driving detection based on RR cycle of ECG, *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 1(1), 11-14, 2014.

Park, J.H., Kim, J.W. and Lee, J.C., Real Time Driver's Respiration Monitoring, *Journal of Sensor Science and Technology*, 23(2), 142-147, 2014.

Patel, M., Lal, S.K.L., Kavanagh, D. and Rossiter, P., Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue, *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7235-7242, 2011.

Rogado, E., Garcia, J.L., Barea, R. and Bergasa, L.M., Driver fatigue detection system, In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 1105-1110, 2009.

Sahayadhas, A., Sundaraj, K. and Murugappan, M., Detecting Driver Drowsiness Based on Sensors: A Review, *Sensors*, 12, 16937-16953, 2012.

Saini, V. and Saini R., Driver drowsiness detection system and techniques: A review, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(3), 4245-4249, 2014.

Shin, H.S., Jung, S.J., Seo, Y.S. and Chung, W.Y., Real-time intelligent health and attention monitoring system for car driver, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 14(5), 1303-1310, 2010.

Sukanesh, R. and Vijayprasath, S., Certain investigations on drowsiness alert system based on heart rate variability using LabVIEW, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 10(11), 368-379, 2013.

Tjolleng, A., Jung, K.H., Hong, W.G., Lee, W.S., Lee, B.H., You, H.C., Son, J.W. and Park, S.K., Classification of Driver's Cognitive Workload Levels using Artificial Neural Network on ECG, In *Proceedings of KIIE Conference*, 1484-1506, 2015.

Vicente J., Laguna, P., Bartra, A. and Bailon, R., Detection of Driver's Drowsiness by means of HRV analysis, *Computing in Cardiology*, 38, 89-92, 2011.

Werteni, H., Yacoub, S. and Ellouze, N., An automatic sleep-wake classifier using ECG signals, *International Journal of Computer Science Issues*, 11(4), 84-93, 2014.