

# 심전도(LF/HF)를 활용한 졸음운전 예방 연구

문광수 · 황경인 · 최은주 · 오세진\*

중앙대학교 심리학과

(2014. 12. 4. 접수 / 2015. 3. 1. 수정 / 2015. 4. 14. 채택)

## Study on Prevention of Drowsiness Driving using Electrocardiography(LF/HF) Index

Kwangsu Moon · Kyungin Hwang · Eunju Choi · Shezeen Oah<sup>†</sup>

Department of Psychology, Chung-Ang University

(Received December 4, 2014 / Revised March 1, 2015 / Accepted April 14, 2015)

**Abstract :** The purpose of this study was to identify the relationship between the index of Electrocardiography(LF/HF) and the occurrence of drowsiness driving while driving in a simulated situation. Participants were 31 undergraduate students with an experience in driving and they participated 30 minutes driving under enough sleep condition and 1 hour under the sleep deprivation condition. The Euro Truck Simulator II was used for driving simulation task and ECG and perceived drowsiness of each participants were measured during two driving conditions. Perceived sleepiness recorded by the checklist every 10 minutes and ECG data extracted before and after 15 seconds of every 10 minutes to verify the relationship between two variables. The results showed that the level of perceived sleepiness under sleep deprivation condition was higher than that under the enough sleep condition, and the level of LF/HF under sleep deprivation condition was lower than that under the enough sleep condition. In addition, the result of analysis of repeated measure ANOVA for ECG indicated that authentic sleepiness revealed in 20 minutes after the start of driving under the sleep deprivation condition. However, the result of perceived drowsiness indicated that authentic sleepiness revealed in 30 minutes after the start of driving. These result suggest that the time difference between biological and perceived response on drowsiness may be exist. Finally, the significant negative correlation between the LF/HF level and perceived drowsiness was observed. These findings suggest that ECG(LF/HF) can be an possible index to measure drowsiness driving.

**Key Words :** electrocardiography, drowsiness driving, safety driving, ECG, driving accident

### 1. 서론

자동차 사용의 증가로 인해 발생하는 대표적인 문제는 교통사고이다. 2012년 교통사고로 인한 사망 사고자는 5,392명이고 부상자는 1,777,604명으로 나타났다. 교통사고로 인한 의료비, 후유장애로 인한 노동력 상실 등을 고려할 경우 인적피해 비용은 약 13조 6776억 원으로 추정된다. 또한 2012년 전체 교통사고로 인한 인적, 물적 피해와 소방, 경찰 등 사회기관 비용을 모두 합하면 23조 5900억여 원인 것으로 집계되고 있다<sup>1)</sup>.

특히 사고 발생 시 피해가 큰 고속도로 교통사고의 경우 졸음운전이 가장 큰 원인 것으로 나타나고 있다. 한국도로공사(2012)에 따르면 2010년 고속도로에서 교통사고로 사망한 353명 가운데, 34%인 119명이 졸음운

전 등 전방 주시 태만에 의해 사망한 것으로 나타났고, 최근 3년간 고속도로 교통사고 중 가장 높은 원인(37.83%)이 졸음운전으로 나타났다<sup>2)</sup>.

미국 고속도로 안전관리국의 2009년도 보고에서도 치명적인 단독 차량 교통사고에 가장 많은 영향을 미치는 요인은 운전자의 졸음이며<sup>3)</sup>, 심각한 교통사고의 20%는 졸음운전 때문인 것으로 보고되었다<sup>4)</sup>. 그리고 졸음운전으로 인해 연간 100,000건 이상의 사고가 발생하고 있고 이로 인해 40,000건의 부상, 1,550명의 사망자가 발생하고 있다<sup>5)</sup>.

졸음운전으로 인해 교통사고를 낸 운전자를 대상으로 인터뷰를 한 결과, 운전자들은 사고를 낼 당시 평소 보다 오랫동안 운전을 하고 있었고, 밤에 운전을 했으며, 5시간 미만의 수면을 취했다고 보고했다<sup>6,7)</sup>. 졸음

<sup>†</sup> Corresponding Author : Shezeen Oah, Tel : +82-2-820-5129, E-mail : shezeen@cau.ac.kr  
Department of psychology, Chung-Ang University, 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 156-756, Korea

나 피로감은 각성, 반응시간, 기억, 정보처리, 그리고 의사결정 저하를 야기 한다<sup>8)</sup>. 따라서 피곤하거나 졸린 운전자는 도로 및 교통에 대한 주의가 저하되어 운전 수행이 저하될 수밖에 없고 자연스럽게 사고로 이어지는 경우가 많다<sup>9)</sup>.

이에 따라 졸음 탐지에 대한 연구들이 진행되어 왔다. 졸음 탐지에 관한 선행 연구들은 대부분 생리적인 지표를 바탕으로 졸음을 파악하려는 연구들이었다(예; 뇌파, 심전도, 근전도, 피부전도반응, 호흡 등). 그 중에서도 심전도(Electrocardiography, ECG)는 선행연구에서 생리적 지표 중에서 졸음을 가장 정확히 탐지해내는 것으로 밝혀졌다<sup>10-13)</sup>. 졸음은 부교감 신경계가 활성화된 상태로 심전도 측정으로 얻어지는 심박변이도(HRV, Heart Rate Variability)가 사람의 졸음정도(각성 정도)에 매우 민감하게 반응하는 것으로 검증되었다<sup>12)</sup>. 특히 사람이 졸릴수록 교감 신경계와 부교감 신경계의 활동 비율을 나타내는 지표인 LF/HF비율이 감소한다고 알려져 있다<sup>14)</sup>. 이처럼 졸음탐지를 위한 생리적인 지표들에 관한 연구는 있었지만, 졸음운전과 ECG의 관련성에 대한 국내에서의 연구는 매우 제한적이었다<sup>15,16)</sup>.

이외에도 졸음 탐지와 함께 실제 실험 참가자의 수면박탈 여부에 따라 참가자가 지각하는 졸림 정도와 관련하여 측정된 연구는 없었다. 특히, 운전 상황에서는 운전자가 자신의 졸림 정도를 정확하게 지각하는 것이 중요한데 운전자가 졸림을 지각하여 휴식을 취함으로써 졸음운전을 예방할 수 있기 때문이다. 하지만 비교적 졸음을 객관적으로 탐지하는 생리적인 지표들이 실제 운전자가 지각하는 졸림 상태와 차이가 있다면 실제 운전 상황에서 생리적인 지표를 활용하는 것이 어려울 것이다.

그리고 졸음운전 예방을 위한 생리적 지표 관련 연구들과 이러한 생리 측정 자료를 바탕으로 한 알고리즘 개발연구들은 주로 졸음이 시작되는 지점에 대하여 관심을 가지고 있고, 졸음이 시작되기 전 행동 변화나 신체 변화 특징에 대한 탐색은 부족한 상황이었다. 실제로 졸음이 시작된 경우에는 1-2초 내에 사고가 발생할 가능성이 있다. 따라서 졸음이 시작되기 전에 나타나는 생리적 변화 패턴을 찾아내고, 이를 바탕으로 졸음을 예방하는 것이 사고 예방에 더 효과적인 방안이 될 수 있다.

따라서 본 연구는 졸음운전 탐지의 생리적 지표로 예상되는 심전도의 LF/HF 밴드에서의 파워비(이하 LF/HF비로 표기)가 참가자들이 실제로 지각하는 주관적인 졸림 정도와 차이가 있는지 그리고 이를 바탕으

로 심전도 자료를 바탕으로 졸음운전을 예측할 수 있는지를 탐색해보았다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 참가자 및 상황

실험 참가자는 C대학에 재학 중인 대학생 31명(남 16명, 여 15명)으로 모두 운전면허증을 가지고 있고, 실제 운전 경험을 가지고 있었다. 평균나이 24.1세( $SD=2.33$ )이었고, 이전에 운전이 영향을 미칠 수 있는 근골격계 질환이나 알코올 중독, 약물 중독으로 진단 받은 적이 없는 건강한 사람들이었다. 알코올이 졸음운전을 유의하게 증가시키며<sup>17)</sup>, 카페인과 낮잠이 졸음운전을 유의하게 감소시킨다<sup>18)</sup>는 선행연구들의 결과를 참조하여 참가자에게 실험하기 24시간 전부터는 알코올 섭취를, 4시간 전부터는 커피나 차와 같은 카페인이 함유된 음료를 섭취하지 않도록 요청했다. 그리고 졸음운전으로 인해 사고를 낸 운전자들이 그 전날 5시간 미만의 수면을 취했다고 보고하였으며<sup>6)</sup>, 불충분한 수면이 운전 시뮬레이션 수행을 감소시킨다<sup>19,20)</sup>는 선행연구 결과를 참조하여 수면 박탈 조건에서 졸음이 발생할 수 있도록 참가자들에게 실험 전날 5시간 이하의 수면을 취하도록 요구했다. 이를 확인하기 위해 새벽 2시, 3시에 연구자에게 문자를 보내게 하였다. 또한 실험은 졸음운전 사고가 빈번하게 발생하는 시간대인 오후 2시-4시 사이에 이뤄졌다<sup>7,21)</sup>.

실험은 대학의 한 실험실에서 이뤄졌으며 실험실 내부에는 운전 시뮬레이션을 위한 스크린, 컴퓨터, 자동차 핸들, 페달, Poly G-I 측정 장비가 비치되었다. 실험 중 졸음운전을 유발하기 위해 암막 커튼을 사용하여 실험실 내부를 어둡게 만들어두었으며, 실내 온도 역시 24°C~26°C를 유지했다.

### 2.2. 실험 및 측정 도구

본 연구에서는 졸음을 측정하기 위해 생리적 지표로 ECG를 측정하였으며, 졸음의 주관적 지표로써 참가자가 보고하는 주관적 졸림 정도를 측정했다. ECG는 LAXHA사의 Poly G-I(WEEG-32)를 활용하여 피험자의 양쪽 손목에 2개의 전극을 부착하여 측정하였다(Fig. 1 참조). ECG 전극을 손목에 부착하면 EMG 신호가 혼입될 수 있지만, 주행도로가 대부분 직선도로 구성되어 있었고, 개인별 측정 자료들을 살펴본 결과 R 첨두(peak)가 잘 측정되었으며 분석대상으로 하는 주파수 대역의 파워에 영향이 없다고 판단되어 잡음신호를 제거하지 않고 분석하였다.



Fig. 1. Poly G-I and measurement of ECG.

주관적 졸림에 대해서는 10분마다 참가자에게 구두로 “지금 현재 얼마나 졸리십니까?”라고 물어으로써, 참가자의 주관적 졸림 정도를 7점 척도(1점: 전혀 졸리지 않음 ~ 7점: 매우 졸림까지)로 측정하였다. 참가자가 보고한 주관적 피로도 및 실험에 영향을 미칠 수 있는 움직임은 실험자의 체크리스트에 별도로 기록되었다.

본 연구의 실험 과제로는 유로트럭 시뮬레이터 2(Euro Truck Simulator II)라는 운전 시뮬레이션 게임을 수행하는 것이었다. 컴퓨터 키보드가 아닌 게임용 핸들을 사용하여 플레이하도록 함으로써 실제 운전 과제와 유사하게 운전 수행을 보이도록 하였으며, 주행도로는 졸음운전을 증가시키는 것으로 밝혀진 직선도로<sup>17)</sup> 위주로 구성되었다(Fig. 2 참조).

### 2.3 실험 절차

참가자가 실험실에 도착하면 먼저 전날 수면시간을 잘 지켰는지 확인하였고, 실험 당일 알코올 및 음료수 섭취를 잘 조절했는지 확인했다. 그리고 참가자에게 연구 목적 및 실험의 전반적 절차를 설명하였으며, 참가자의 성별과 연령을 비롯한 인구통계학적 설문지를 작성하도록 했다. 참가자가 실험에 대해 충분히 이해한 것을 확인한 뒤 참가자로부터 실험 참가 동의서를 받았으며, 5분 동안 실험자가 본 실험의 과제인 운전 게임을 조작하는 방법을 설명·시연하였다. 이후 5분 동안 참가자가 Euro Truck Simulator II를 직접 조작하면서 게임에 익숙해질 수 있도록 하였다. 또한, 운전 과제를 설명하면서 참가자가 최대한 숨을 고르게 쉬고, 핸들을 일정하게 잡고 불필요한 신체 움직임을 최소화



Fig. 2. Euro Truck Simulator II and driving situation.

하도록 요구했다. 그리고 ECG 전극을 정해진 위치에 부착하였으며, 측정을 시작하기 전 참가자에게 구두로 주관적 피로도를 물었다. 이후 10분마다 참가자의 주관적 졸림 수준 측정하여 체크리스트에 기록하였다. 실험은 충분한 수면 조건에서 30분, 수면 박탈 조건에서 1시간동안 진행되었다.

### 2.4. 자료분석

ECG 분석은 LAXHA사의 Telescan 프로그램을 활용하여 원자료를 R-R interval variability 데이터로 변환한 뒤, 다시 LF(Low Frequency)/HF(High Frequency) 비를 구하였다. LF가 상대적으로 교감 신경계의 활동을 많이 반영한다면, HF는 부교감 신경계의 활동을 많이 반영한다<sup>14,22)</sup>. 졸음이나 수면은 상대적으로 부교감 신경계가 활성화되면서 에너지를 비축하는 상황이므로 졸림수록 LF/HF 비율은 감소하게 된다<sup>14)</sup>. LF와 HF의 주파수 범위는 기존 국외 연구들과 국내 선행 연구들에서도 사용되었던 값을 기준으로 각각 LF(Low Frequency: 0.04 ~ 0.15 Hz), HF(High Frequency: 0.15 ~ 0.4 Hz)로 설정하였다<sup>12,14,15,16)</sup>.

전체 측정 자료 중 분석에 활용된 데이터는 주관적 졸림 정도를 묻는 시점과 같은 10분 간격 전후 15초씩, 30초 길이로 분절하여 각 참가자들의 자료를 추출한 뒤 이 자료를 바탕으로 통계분석을 실시하였다. 통계분석은 paired t검증, 반복측정 변량분석(repeated measures analysis of variance) 그리고 상관분석(correlation analysis)을 실시하였다. 이러한 통계분석을 위해서는 자료 분포의 정상성(normality)이 충족되어야 한다. 본 연구에서의 LF/HF 비 자료의 경우 정적편포를 보여 자료의 분포가 정상성을 확보할 수 있도록 제곱근(square root)을 통해 변환한 후 분석하였다. 통계 검증은 SPSS 21.0 프로그램을 사용하였다.

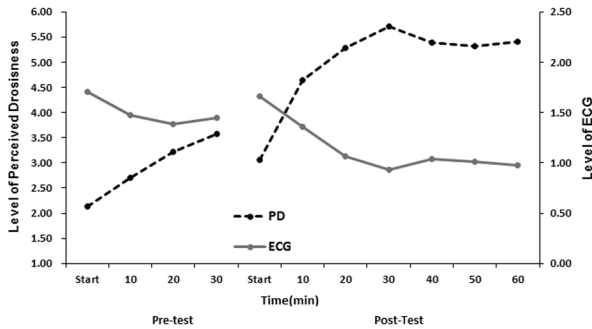
## 3. 결과

Table 1에는 사전(충분한 수면) 측정과 사후(수면 박탈) 측정에서 시작과 시간대 별로 측정한 주관적 졸림 정도와 ECG의 평균과 표준편차 값이 제시되어 있다. 그리고 Fig. 3에는 사전과 사후 측정에서 주관적 졸림 정도와 ECG의 평균 값이 시간대 별로 제시되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 주관적 졸림 정도는 정상적으로 취침을 했던 사전보다, 수면 박탈을 했던 사후에 더 높은 것으로 나타났고, ECG는 사전보다는 수면 박탈 조건인 사후에 좀 더 낮아진 것을 알 수 있다. 특히 수면박탈 조건에서 주관적 졸림 수준은 30분까지 증가하

**Table 1.** Means and standard deviations for perceived drowsiness and ECG by flow of experimental time.

Variable	Pre-test				Post-test							
	Start	10M	20M	30M	Start	10M	20M	30M	40M	50M	60M	
PD	M	2.13	2.71	3.23	3.58	3.06	4.65	5.29	5.71	5.39	5.32	5.40
	SD	.85	1.13	1.31	1.31	1.21	1.40	1.30	1.01	1.28	1.17	1.28
ECG (LF/HF)	M	1.71	1.47	1.38	1.45	1.66	1.36	1.07	.94	1.04	1.01	.98
	SD	.63	.58	.56	.58	.55	.53	.45	.40	.40	.50	.52

Note. PD: Perceived Drowsiness, ECG: Electrocardiography



**Fig. 3.** The mean level of perceived drowsiness and ECG in the pre-post test.

다가 일정한 수준을 유지하였고, ECG의 경우는 20분 까지 감소한 후에 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

수면 박탈에 따라 주관적 졸림 정도와 심전도(ECG) LF/HF 비율의 차이가 있는지 확인하기 위하여 사전 사후 t검증을 실시하였다(Table 2 참조). 충분한 수면을 취한 조건의 주관적 졸림정도( $M=3.17$ ,  $SD=1.02$ )와 수면 박탈 조건의 주관적 졸림정도( $M=5.30$ ,  $SD=.81$ ) 간 평균은 유의미한 차이를 보였다( $t=-12.58$ ,  $p<.01$ ). 또한 충분한 수면 조건의 심전도( $M=2.38$ ,  $SD=1.29$ )와 수면 박탈 조건의 심전도( $M=1.37$ ,  $SD=.77$ ) 역시 유의미한 차이를 나타냈다( $t=3.79$ ,  $p<.01$ ). 이는 5시간 이하의 수면을 취한 수면 박탈 상태의 경우 충분한 수면을 취했을 때보다 참가자들이 운전 시 더 많은 졸음을 느낀다는 것을 보여준다.

**Table 2.** Means and standard deviations for ECG and perceived drowsiness and the results of paired t-test.

Variables	Pre		Post		df	t	p
	M	SD	M	SD			
PD	3.17	1.02	5.30	.81	30	-12.584**	.000
ECG (LF/HF)	1.43	.44	1.07	.29	30	3.793**	.001

Note. PD: Perceived Drowsiness, ECG: Electrocardiography  
 \*\*:  $p < .01$

본 연구에서는 수면 박탈 조건에서 심전도와 주관적 졸림 정도가 시간이 경과함에 따라 차이가 발생하는지 통계적으로 검증하기 위하여 사후 측정 구간에서 반복 측정 변량분석(repeated measures analysis of variance)을 실시하였다. 결과는 Table 3에 제시되어 있다.

반복측정 변량분석 결과 시간이 지남에 따른 심전도 값의 유의미한 변화가 발견되었으며( $F(6, 174) = 27.72$ ,  $p < .01$ ), 주관적 졸림 정도의 변화 또한 유의미한 차이를 보였다( $F(6, 174) = 11.75$ ,  $p < .01$ ). 구체적으로 몇 분의 시간이 지난 후 차이가 발생하는지를 알아보기 위하여 사후검증(Bonferroni Test)을 실시하였고 그 결과는 Table 4와 Table 5에 제시되어 있다. 주관적 졸림 정도에 대한 사후검증 결과 시작과 10분, 20분 구간은 다른 모든 구간과 평균에서 유의미한 차이가 있었으나 30분 구간 이후부터는 시작과 10분 20분 구간을 제외하고는 평균에서 유의미한 차이가 없었다. 따라서 주관적 졸림 자료 분석 결과를 바탕으로는 수면 부족 조건에서 30분 이후 본격적인 졸음이 나타났다고 할 수 있다(Table 4 참조).

심전도에 대한 사후검증 결과 과제 시작 구간과 10분 구간에서 다른 모든 시간 구간과 평균에서 유의미한 차이가 나타났으나 20분 이후 구간들은 시작과 10분 구간을 제외하고는 평균에서 유의미한 차이가 없었다. 따라서 심전도 분석 결과를 바탕으로는 수면 부족

**Table 3.** The results of repeated measure ANOVA for PD and ECG(LF/HF)

Variable	Source	SS	df	MS	F	p
PD	Time	11.83	6	1.97	11.75**	.000
	Error	29.18	174	.17		
ECG (LF/HF)	Time	152.36	6	25.39	24.72**	.000
	Error	178.78	174	1.03		

Note. PD: Perceived Drowsiness, ECG: Electrocardiography  
 \*\*:  $p < .01$

**Table 4.** The results of post-hoc analysis for perceived drowsiness in post-test

Comparison	MD	SE	p
Start vs. 10M	-1.567**	.228	.000
10M vs. 20M	-.667**	.227	.006
20M vs. 30M	-.433*	.196	.035
30M vs. 40M	.233	.266	.387
40M vs. 50M	.167	.180	.362
50M vs. 60M	-.133	.178	.459

Note. \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , M: min

**Table 5.** The results of post-hoc analysis for ECG(LF/HF) in post-test

Comparison		MD	SE	p
Start vs.	10M	.291**	.088	.003
10M vs.	20M	.253*	.104	.021
20M vs.	30M	.175	.101	.093
30M vs.	40M	-.115	.094	.233
40M vs.	50M	.034	.089	.707
50M vs.	60M	.011	.104	.920

Note. \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , M: min

조건에서 20분 이후 본격적인 졸음이 나타났다고 할 수 있다(Table 5 참조).

운전자가 지각하는 졸림 정도가 실제 생리적 졸음 정도간에 관계성이 있는지를 확인하기 위하여 충분한 수면조건에서는 가장 LF/HF비가 높고 주관적 졸림 정도가 낮은 10분대와 수면박탈 조건 중에서 가장 LF/HF비가 낮고 주관적 졸림 정도가 높은 50분대의 수치를 바탕으로 상관분석을 실시하였다. 분석결과  $r = -.464$  ( $p < .01$ )로 유의미한 부적 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다.

#### 4. 논의

본 연구의 목적은 졸음운전 사고를 예방하기 위해 졸음의 생리적 지표로 예상되는 ECG(심전도 LF/HF 밴드에서의 파워비)가 효과적으로 지각된 졸음을 예측하는 것이었다. 운전 시뮬레이션을 통해 수집된 주관적 졸림 정도와 LF/HF비를 분석해 본 결과, 수면 박탈 여부에 따른 운전자의 주관적 졸림도와 LF/HF비 간에 유의미한 차이를 보였다. 그리고 주관적 졸림도는 30분 까지 지속적으로 증가한 후 30분까지 증가하다가 일정한 수준을 유지하였고, LF/HF비의 경우는 20분까지 감소한 후에 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났고 통계적으로도 이 시간 전후로 유의미한 차이가 있었다.

또한 운전자의 주관적 졸림 정도와 실제 생리적 졸음 지표인 LF/HF간의 관련성을 알아보기 위해 상관분석을 실시한 결과 주관적 졸림 정도와 심전도 간에 유의미한 부적 관련성이 있는 것으로 검증되었다.

이러한 연구결과를 바탕으로 운전자의 전날 수면박탈의 정도가 실제 주행 시 느끼는 졸음 정도와 생리적 졸음 지표인 심전도(ECG)에 유의미한 차이를 가져온다는 것을 알 수 있다. 그리고 ECG가 졸음 운전을 예측하기에 타당한 지표라는 것을 확인할 수 있었다. 이

는 기존의 ECG와 졸음 간의 관련성을 연구한 선행 연구들<sup>10-13,15,16</sup>)과 일치라는 결과라고 할 수 있다. 또한 운전자가 느끼는 졸림 정도가 졸음운전으로 인한 교통사고를 예방할 수 있는 중요한 지표로 사용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구결과의 가장 흥미로운 점은 생리적 지표로 졸음을 가장 잘 탐지하는 ECG(LF/HF비)을 살펴볼 때, 졸음은 운전을 시작한 후 20분 이후부터 나타났다고 할 수 있다. 하지만 주관적 졸림 정도의 보고를 보면 30분 이후로 사람들은 졸음을 지각하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실제 사람들이 지각하는 졸림 정도가 생리적인 지표와 시간적으로 차이가 있을 수 있다는 것을 알려준다. 즉 운전자들이 졸림을 지각한 시점은 이미 생리적으로 피곤하고 졸린 상태이기 때문에 조금 더 운전을 하는 것보다 바로 휴식을 취하는 것이 졸음운전을 예방할 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 교통사고 예방을 위해 고려할 수 있는 점은 충분한 수면 조건보다 졸음 박탈 조건에서 유의미하게 지각된 졸음 수준이 높았고, LF/HF비가 낮았기 때문에 전날 수면이 충분하지 못한 상황에서는 평소 보다 좀 더 자주 휴식을 취하는 것이 졸음운전으로 인한 교통사고를 예방하는데 효과적이라고 할 수 있다.

그리고 약간 졸림다고 지각된 상태가 신체적으로는 이미 졸린 상태일 수 있기 때문에, 하품이 시작되거나 졸리운 것 같다고 지각될 때 바로 휴식을 취하는 것이 졸음운전으로 인한 교통사고 예방에 도움이 될 수 있을 것이다.

이외에 추후 졸음운전을 예측하기 위한 생리 측정 시스템을 개발된다면, ECG 자료를 바탕으로 특정 수준 이하로 내려가는 것을 탐지했을 경우 잠을 깨울 수 있는 다양한 피드백(e.g., 음악, 경고음, 향기, 진동)을 제공한다면 교통 사고를 예방할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구만으로는 이를 일반화하기에 어렵고, 특히 생리적 자료와 지각된 자료 간의 시간 차이에 대한 관련 연구가 아직 부족한 상황이기 때문에 더 많은 연구가 필요하다고 할 수 있다.

특히 후속연구에서는 본 연구의 제한점들을 고려할 필요가 있다. 우선 본 연구 결과의 내적타당도를 저해하는 요인으로 졸음 정도에 대해 질문하는 것이, 졸음을 감소시키는 역할을 할 수 있다는 것이다. 따라서 지각된 졸음 수준이 더 낮게 측정되었을 가능성이 있다. 그리고 5시간에 대한 정확한 수면시간을 주관적 보고에 의존할 수밖에 없었다. 비록 수면 시간 보장을 위해 새벽에 문자를 보내게 하였지만, 실험 전에 추가 수면

을 했을 가능성을 배제하기는 어렵다. 따라서 추후연구에서는 이러한 가능성을 최소화할 수 있는 방안에 대한 모색이 필요할 것이다.

내적 타당도 저해 요인 외에 결과의 일반화를 저해하는 다음과 같은 요인들도 고려될 필요가 있다. 첫째, 본 연구는 실험실에서 진행되었기 때문에 실제 운전 상황에서는 다른 결과가 나타날 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 졸음을 유도하기 위해 약간 어두운 조명과 청각 자극이 없는 상태가 지속적으로 유지되게 하였다. 하지만 이러한 실험실 상태는 일반 도로 운전과는 많은 차이를 보이기 때문에 결과를 일반화하기 어렵다. 따라서 후속연구에서는 실제 운전 상황에서 실험을 진행할 필요가 있고 특히 고속도로 운전과 시내 주행 간에는 운전 상황이나 제시되는 자극의 차이가 크기 때문에 이를 구분하여 연구를 진행할 필요가 있다.

둘째, 비록 심전도(ECG)가 졸음을 가장 정확히 반영한다고 하지만 후속연구에서는 뇌전도(EEG), 근전도(EMG), 호흡 등과 같은 다른 생리적 지표와 함께 측정한다면 졸음 예측력이 증가할 수 있을 것이다. 그리고 다양한 생리적 지표들이 지각된 졸음에 미치는 상대적 효과에 대해 검증한다면 좀 더 효율적인 예측 모델 개발이 가능할 것이다.

셋째, 본 연구의 참가자들은 대학생들로 연령대의 분포가 한정되어 있었다는 한계를 가지고 있다. 연령대에 따라 운전시간에 따른 피로도와 졸음 정도가 다를 수 있기 때문에 좀 더 다양한 연령대를 대상으로 실험할 필요가 있다.

넷째, 졸음 여부를 판단할 수 있는 ECG의 기준 값이 필요할 것으로 판단된다. 비록 개인 내에서는 안정적인 수 있지만 생리적 반응에는 개인차가 있다는 점을 고려할 필요가 있다. 따라서 이러한 개인차를 고려한 분석방법이 필요하며 추후 시스템 개발에서도 이에 대한 고려가 필요하다고 할 수 있다.

마지막으로 본 연구에서의 ECG 측정방식이 여전히 침습적인 방법이라는 점이다. 정확한 측정을 위해서는 침습적인 방법이 사용될 수밖에 없지만, 실제 사용에 있어서는 제한적이 될 수 있기 때문에, 다양한 측정방안(e.g., 핸들 혹은 안전벨트 등)에 대한 모색과 이러한 측정의 정확성에 대한 연구들이 필요할 것이다.

본 연구를 통해 ECG(LF/HF비)와 지각된 졸음 간의 관계성을 확인할 수 있었으며 전술한 보완점을 고려한 후속 연구들이 진행된다면 졸음운전을 효과적으로 예측, 감소시킬 수 있는 시스템 개발을 위한 연구들에 도움이 될 것으로 판단된다.

**감사의 글:** 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012R1A1A2007464).

## References

- 1) Korean Road Traffic Authority, *Estimation and Assessment of 2012 Traffic Accident Cost*, 2013.
- 2) Korean Expressway Corporation, *Current State of Car Accident*, 2012.
- 3) C. Liu, and R. Subramanian, *Factors related to fatal single-vehicle run-off-road crashes* (No. HS-811 232), 2009.
- 4) J. A. Horne, and L. A. Reyner, "Sleep-related Vehicle Accidents", *British Medical Journal*, Vol.310, No.6979, pp. 565-567. 1995.
- 5) National Highway Traffic safety Administration. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Cats/Index.aspx>.
- 6) J. Connor, R. Norton, S. Ameratunga, E. Robinson, I. Civil, R. Dunn, J. Bailey and R. Jackson, "Driver Sleepiness and Risk of Serious Injury to Car Occupants: Population Based Case Control Study", *BMJ*, Vol.324, No.7346, pp.1125, 2002.
- 7) J. C. Stutts, J. W. Wilkins and B. V. Vaughn., *Why do People Have Drowsy Driving Crashes. Input from Drivers who Just Did*. Washington: AAA Foundation for Traffic Safety. 1999.
- 8) J. M. Lyznicki, T. C. Doege, R. M. Davis and M. A. Williams, "Sleepiness, Driving, and Motor Vehicle Crashes", *The Journal of the American Medical Association*, Vol.279, No.23, pp.1908-1913, 1998.
- 9) I. D. Brown, "Driver Fatigue", *Human Factors*, Vol.36, No.2, pp.298-314, 1994.
- 10) H. J. Eoh, M. K. Chung and S. Kim, "Electroencephalographic Study of Drowsiness in Simulated Driving with Sleep Deprivation", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.35, No.4, pp.307-320, 2005.
- 11) S. Kar, A. Routray and B. P. Nayak, "Functional Network Changes Associated with Sleep Deprivation and Fatigue during Simulated Driving: Validation using Blood Biomarkers", *Clinical Neurophysiology*, Vol.122, No.5, pp.966-974, 2011.
- 12) A. Murata and Y. Hiramatsu, "Evaluation of Drowsiness by HRV Measures-basic Study for Drowsy Driver detection", In *Proceedings of 4th International Workshop on*

- Computational Intelligence & Application. pp. 99-102, 2008.
- 13) R. P. Nikhil, C. Chien-Yao, K. Li-Wei, C. Chih-Feng, J. Tzyy-Ping, L. Sheng-Fu and L. Chin-Teng, "EEG-based Subject-and Session-independent Drowsiness Detection: an Unsupervised Approach", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2008, pp.192, 2008.
  - 14) M. Patel, S. K. L. Lal, D. Kavanagh and P. Rossiter, "Applying Neural Network Analysis on Heart Rate Variability Data to Assess Driver Fatigue", Expert Systems with Applications, Vol.38, No.6, pp.7235-7242, 2011.
  - 15) M. S. Kim, Y. N. Kim and Y. S. Heo, "Characteristics of Heart Rate Variability Derived from ECG during the Driver's Wake and Sleep States", Transaction of KASE, Vol.22, No.3, pp. 136-142, 2014.
  - 16) G. D. Lee, M. S. Kim, J. S. Kim, D. G., Kim, J. H. Oh and S. J. Yu, "Effects of Blowing to Face on Driver's Sleepiness and ECG", This Paper Presented in Summer Conference of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2012.
  - 17) L. T. Nguyen, B. Jauregui, and D. F. Dinges, "Changing Behaviors to Prevent Drowsy Driving and Promote Traffic Safety: Review of Proven, Promising, and Unproven Techniques", AAA Foundation for Traffic Safety, Pennsylvania, 1998.
  - 18) E. De Valck and R. Cluydts, "Slow Release Caffeine as a Countermeasure to Driver Sleepiness Induced by Partial Sleep Deprivation", Journal of Sleep Research, Vol.10, No.3, pp. 203-209, 2001.
  - 19) E. De Valck, E. De Groot and R. Cluydts, "Effects of Slow-release Caffeine and a Nap on Driving Simulator Performance After Partial Sleep Deprivation", Perceptual and Motor Skills, Vol.96, No.1, pp.67-78, 2003.
  - 20) S. Miyata, A. Noda, N. Ozaki, Y. Hara, M. Minoshima, K. Iwamoto and Y. Koike, "Insufficient Sleep Impairs Driving Performance and Cognitive Function", Neuroscience Letters, Vol.469, No.2, pp.229-233,2010.
  - 21) A. I. Pack, A. M. Pack, E. Rodgman, A. Cucchiara, D. F. Dinges and C. W. Schwab, "Characteristics of Crashes Attributed to the Driver Having Fallen Asleep", Accident Analysis & Prevention, Vol.27, No.6, pp. 769-775, 1995
  - 22) A. Bezerianos, S. Papadimitriou and D. Alexopoulos, "Radial Basis Function Neural Networks for the Characterization of Heart Rate Variability Dynamics" Artificial Intelligence in Medicine, Vol.15, No.3, pp. 215-234, 1999.