

황색신호 딜레마 극복을 위한 자율신경계 활성화 중심의 신호체계 평가

Evaluation of a Traffic Light System Focusing on Autonomic Nervous System Activity for Overcoming Yellow Signal Dilemma

조형석¹ · 김규범² · 안석현³ · 민병찬^{4†}

Hyung-Seok Jo¹ · Kyu-Beom Kim² · Seok-Huen Ahn³ · Byung-Chan Min^{4†}

Abstract

This study is aimed at investigating drivers' reactions to yellow signal dilemma situations as a result of the existing signal system, and developing a new signal system. A driver-centered coping model was developed through bio-signal analysis. The driver's physiological response in the existing signal system was observed, and the signal system was developed by applying intersection road driving conditions using a car graphic simulator. Participants were classified into a control group (existing signal system) and an experimental group for a new yellow signal system (new signal system). Based on the results, the emergence of parasympathetic nerves was higher in the experimental group than in the control group, where a statistically significant difference was observed ($p < 0.05$). The newly developed signal system appeared to cause tension among drivers; however, the sympathetic to parasympathetic nerve ratio was 6:4, which could be interpreted as an ideal balance. We conclude that drivers can drive more stably if the coping signal system developed in this study is applied to the traffic system.

Key words: Yellow-Signal Dilemma, Signal System, Autonomic Nervous System, Graphic Driving Simulator

요약

본 연구에서는 기존의 신호체계에서 발생하는 황색 신호 딜레마 상황에서 운전자의 상태를 파악하고 새로운 신호체계를 제안하고자 한다. 특히, 생체신호 분석을 통해 운전자 중심의 대처모형을 제안한다. 이를 위해 자동차 그래픽 시뮬레이터를 통해 교차로 도로 주행상황을 구현하여 기존의 신호체계와 본 연구에서 제안하는 신호체계에서 운전자의 생리적 반응을 관찰하여 규명하고자 한다. 따라서 대조군(기존 신호체계)과 새로운 황색 신호체계를 실험군(새로운 신호체계)으로 나누어 20대 초보 운전자를 중심으로 실험을 진행하였다. 그 결과, 대조군보다 실험군에서 교감신경의 출현이 우세하였으며 통계적으로 유의차가 인정되었다($p < 0.05$). 이를 통해 새로운 신호체계가 운전자가 긴장감을 유발하는 것처럼 보이지만 교감신경과 부교감신경의 비율이 6:4로 이상적인 균형으로 해석할 수 있다. 결론적으로, 본 연구에서 제안하는 대처 신호체계를 교통체계에 적용한다면 운전자가 더욱 안정적인 주행이 가능할 것으로 보인다.

주제어: 황색신호 딜레마, 자율신경계, 신호체계, 자동차 그래픽 시뮬레이터

* 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 201901920001).

¹ 조형석: 한밭대학교 산업경영공학과 석사과정

² 김규범: 한밭대학교 산업경영공학과 석사

³ 안석현: 한밭대학교 산업경영공학과 학사과정

^{4†} (교신저자) 민병찬: 한밭대학교 산업경영공학과 교수 / E-mail : bmin@hanbat.ac.kr / TEL : 042-821-1227

1. 서론

교통신호기는 복잡한 도로의 교통상황에 맞춰 교통류들에 적절한 신호 간격으로 통행 우선권을 할당하기 위해 1868년 영국에서 처음 도입되었다. 그 후 다양한 교통신호 단계 간의 변동을 규제할 필요가 있었고, 이에 따라 상충하는 교통의 흐름을 교차로에서 제거하고 다른 흐름을 진행하는 방법으로 황색 신호방식을 사용하게 되었다(Nam et al., 2004).

황색 신호는 1940년 Van Dazer가 교통 신호기의 녹색 단계에서 적색 단계로 변하는 순간에 위험을 경고하는 중간 신호로서 권장해 도입되었다.

황색 신호는 차량용 교통 신호기가 설치된 교차로나 횡단보도에서 통행의 변화를 알려주어 운전자가 이에 대응하도록 하기 위한 신호로서, 신호가 녹색에서 적색으로 바뀌는 신호 과정을 말한다(Lee et al., 2004).

대한민국에서의 황색 신호에 대한 법적인 의미를 보면, 도로교통법 제 5조 제2항에 “차마는 정지선이 있거나 횡단보도가 있을 때는 그 직전이나 교차로의 직전에 정지하여야 하며, 이미 교차로에 차마의 일부라도 진입한 경우에는 신속히 교차로 밖으로 진행하여야 한다.”라고 규정하고 있다.

이것은 기본적으로 황색 신호에서는 교차로 진입을 금지하고 있다. 하지만 이러한 규정을 운전자가 운전 상황에 적용하는 것은 쉬운 일이 아니다. 예를 들어 운전자가 교차로에 도달하기 전 황색 신호가 점등되고, 규정을 지키기 위해 정지를 하게 되면 급정지를 하게 되면, 뒤에 따라오는 차량도 똑같이 급정거하게 되면서, 또 다른 사고로 이어질 수 있으며, 황색 신호를 무시하고 지나갈 경우, 가로질러오는 다른 차량과 부딪혀 사고가 발생할 수 있다. 그렇기에 상황에 따라 멈추거나 멈추지 않아도 사고로 이어질 수 있게 되는 구간을 황색 신호 딜레마 구간이라고 한다.

도로교통공단의 2016~2019년 교통사고 통계정보를 보면 매년 교차로에서 약 3,000여 건씩 사고가 증가한 것으로 보고되고 있으며, 2019년 기준 우리나라 가해 운전자 법규위반 유형별 교통사고는 22만9천여 건 발생하였고 그중에 교차로 운행 방법 위반과 신호 위반 사건이 3만7천여 건이 발생하였다.

이러한 딜레마 존에 대한 많은 연구가 진행되고 있

다. (Lee et al., 2003)의 연구에서는 딜레마 구간의 제거를 위해 교차로에 접근하는 차량 운전자의 태도를 분석하였으며, (Lee et al., 2007)은 딜레마 존에서 최소 정지거리와 통과할 수 있는 최대거리를 정의하였다. 하지만, 운전자 중심의 연구가 다소 부족한 상황이다. 그리고 딜레마 존을 극복할 수 있는 적절한 대처 모델에 관한 연구도 부족하다. (Lee et al., 2005)의 연구에서는 신호의 방식에 따른 운전자의 반응에 관해 연구하여 운전자의 반응속도, 속도변화량과 같은 신체적 반응에 대한 대처모델을 제시하였다.

본 연구에서는 운전자를 중심으로 심전도를 통해 신체적 반응을 관찰하고자 한다. 또한, 기존의 신호체계의 문제점인 명확하지 않은 정보를 보완하고자 하였다. 그 방법으로 첫째, 황색 신호의 점등 시간을 조금 더 연장하여 제시하고, 둘째, 황색 신호를 점멸로 제시하고, 셋째, 황색 신호가 들어올 때 청색 신호가 꺼지지 않고 동시에 제시함으로써 황색 신호를 좀 더 안정적으로 느낄 수 있도록 하여 운전자가 안정적인 주행이 가능하도록 하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상자

실험은 대전의 H 대학에 재학 중인 성인 남성 20명을 대상으로 진행되었다. 실험참여자들의 평균 연령은 23.8세(± 1.85 세)였으며, 이들은 운전면허를 취득하였으며 경력이 2년 미만인 인원이다. 생체신호 측정에 문제가 없도록 심혈관계 질환이 없는 인원으로 선별하였으며, 운전시뮬레이터를 수행하면서 simulator sickness 를 보이지 않는 인원들로 실험을 진행하였다. 또한, 카페인, 약물 등의 복용을 금하였으며 실험 전일 7시간 이상의 수면을 취하도록 하였다.

연구대상자는 대조군과 실험군 모두에 노출되었으며 개인마다 네 집단의 처치 순서를 랜덤하게 변경하여 순서효과를 배제하였다. 개인 간 편차가 큰 생체신호 특성을 반영하여 네 집단의 동질화를 위해 이처럼 설계하였다.

2.2. 실험 환경 및 장비

2.2.1. 자동차 그래픽 시뮬레이터

실험실 환경은 내부온도 25℃, 습도 45~50%를 유지하였다. 자동차 그래픽 시뮬레이터는 Gridspace Co. (Korea)사의 GDS-3000S로 Fig. 1과 같이 3대의 32인치 LCD 모니터를 통해 운전 상황을 제공하였다. 차량 모델은 현대자동차의 ‘클릭’이며 표시장치(속도계, 방향 지시등, RPM 미터 등)와 운전 장치(핸들, 가속페달, 브레이크 페달, 등)가 실제 차량과 동일하게 구현되어있다(Kim, 2010; Park et al., 2019). 주행상황의 시뮬레이션은 왕복 4차선 도로이며 매개변인을 통제하여 황색 신호로 인해 운전자에게 미치는 영향을 알아보기 위해 주변 차량이 없도록 설계하였으며 시속은 60km/h로 제한하였다.



Fig. 1. Graphic Driving Simulator

2.2.2. 신호

원활하게 신호를 제시하기 위해 Red Electric사의 신호등을 실험에 사용하였다. 3색(적색, 황색, 청색)의 신호를 표현할 수 있는 신호등이며 연구자가 의도한 대로 신호를 조종할 수 있도록 리모컨을 이용해 원격 조



Fig. 2. Location of Signal

종이 가능하다. 신호등의 크기는 가로 465mm, 세로 140mm이며, 두께는 70mm이며 운전자로부터 약 2m만큼 떨어져 있다.

2.2.3. 생체신호 측정기

생체신호는 자율신경계의 활동을 나타내는 심전도를 측정하였다. 사용된 장비는 BioPac사의 MP30을 사용하였다(Fig. 3). Sampling rate 1,000Hz로 설정 후 측정하였다.



Fig. 3. Measuring Equipment

2.3. 신호방식

황색 신호 출현에 대한 예측 정보는 운전자들이 교차로를 통과하려고 할 때 언제 황색 신호로 바뀔지, 황색 신호시간이 얼마나 남았는지, 그리고 언제 적색 신호로 바뀔지와 같은 신호 단계의 변동에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 그렇기에 본 연구에서는 기존 신호기의 신호방식을 황색 신호 자체가 신호 변동을 알리는 경고 간격임에도 딜레마 구간 내에서 황색 신호에 대한 반응을 결정하는 신호시간 길이가 짧은 경향이 있다(Olson et al., 1962)는 선행연구를 바탕으로 딜레마 구간 극복을 위한 신호정보를 제공하기 위해 “기존 신호등 조건”을 통제조건으로 제시하였고, 실험 조건으로는 “황색 신호 시간 연장 조건”, “황색 신호 점멸조건”, “중복 신호조건”으로 조작하고, 통제조건과 실험조건 간의 신호방식이 심전도상으로 어떠한 차이가 있는지 비교하고자 한다.

황색 신호 점멸조건으로는 기존의 3초 동안 황색 신호를 기존의 점등방식이 아닌 점멸 상태로 제시하는 방식이다(Drive 2).

황색 신호 시간 연장 조건으로는 (Jang, 2000)의 연구에서 주장하는 방법에 따라 차량 속도가 60km/h일 때, 황색 신호 시간이 최대 2초 정도 늘어나 기존의 3초에 2초의 시간을 추가해 총 5초의 시간 동안 황색 신호를 연장하여 제시한 후 적색 신호로 바뀌는 조건이다(Drive 3).

중복 신호 조건은 일반적인 신호체계와 달리 청색 신호가 소등되지 않고 황색 신호가 제시되는 3초 동안 같이 제시되다가 동시에 소등되는 조건이다(Drive 4).

2.4. 실험과정

실험은 Fig. 4와 같이 진행되었다. 실험 출발선부터 신호등까지 약 150m의 직선 구간으로 이루어져 있다. 본 실험은 피실험자가 시뮬레이터 운전해 익숙해지기

위해 5분간 운전연습을 한 후, 생체신호의 안정화와 simulator sickness를 최소화하기 위해 각 처치간 시뮬레이터 운전을 하기 전 5분간 눈을 감은 상태로 안정을 취하도록 하였다. 이후, 도로 주행을 시작하였으며 대조군의 경우 주행 시작 후 8초의 시점에서 황색 신호를 3초간 제시하였으며 이때 운전자 본인이 판단하여 교차로를 통과하거나 정지하였다. 이후 적색 신호가 제시되면 정지하도록 하였다. 실험군의 경우 대조군과 똑같은 프로세스이지만 8초의 시점에서 각 조건의 신호방식을 제시하였다.

2.5. 측정 및 분석방법

심전도 주파수 분석을 실시하였다.

운전 시 데이터의 경우 Fig. 5와 같이 8초의 시점으로 기준으로 청색 신호를 제시한 시간과 같은 시간인 황색 신호 제시 후 8초에 대해 분석하였다(Lee et al., 2010).

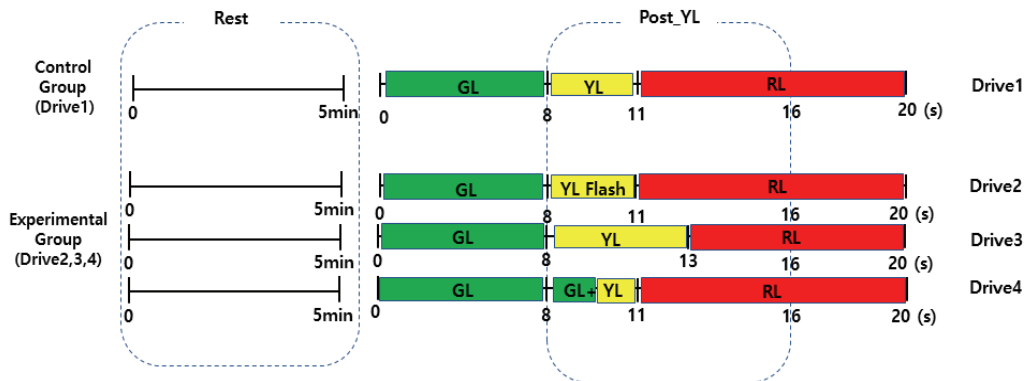


Fig. 4. Procedure of Experiment

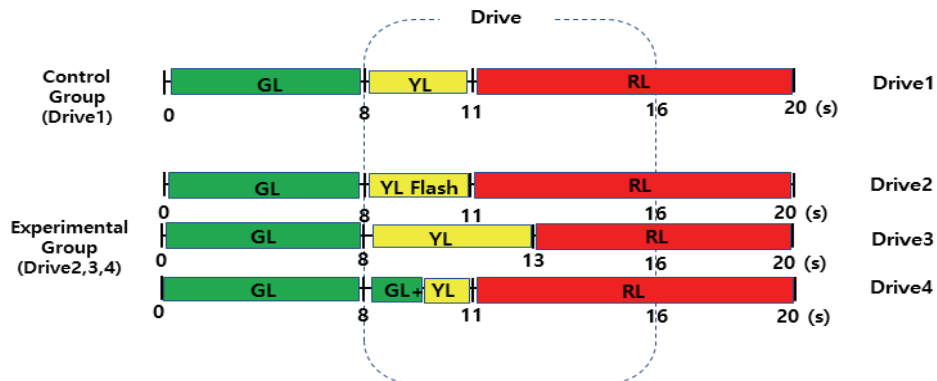


Fig. 5. Range of Analysis

2.5.1. HRV

자율신경계 반응을 관찰하기 위해 심전도를 측정하였다. 측정 시 Sampling Rate는 1,000Hz로 설정하였으며, 심전도 측정의 전극 부위는 참조 전극 + 전극과 대칭되는 우 흉부에 부착하였고, +/- 전극은 각각 좌 흉부와 흉골 최상부에 부착되는 CM5 유도법을 사용하였다(Fig. 6).

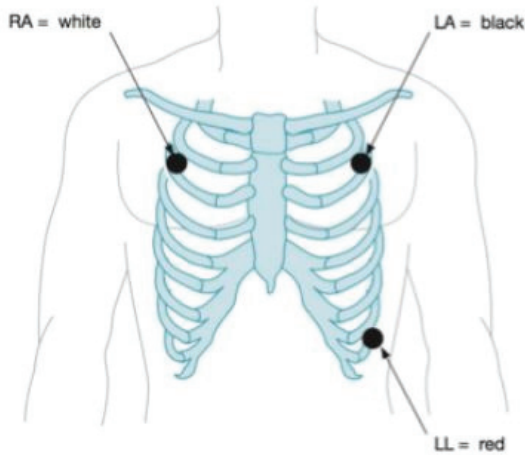


Fig. 6. Location of Electrode

위의 과정을 통해 얻은 데이터는 ADInstruments사의 심전도 분석 프로그램인 LabChart를 통해 주파수 대역의 데이터로 변환하였는데, 교감신경과 부교감신경의 반응을 관찰하고자 함이다. Table 1과 같이 부교감신경계의 활동을 나타내는 HF(High Frequency)와 교감신경계의 활동이 대변하는 LF(Low Frequency) 대역의 Power 값을 평균하여 데이터를 산출하였다(Moon et al., 2015; M. patel et al., 2011; Kim et al., 2014; Lee et al., 2012).

Table 1. Range of LF, HF

Frequency	LF	HF
Frequency Range (Hz)	0.04 - 0.15	0.15 - 0.40

이어서, 식(1)을 통해 기존 신호방식의 데이터를 기준으로 정규화를 진행하였다. 추가로, 교감신경과 부교감신경은 서로 대항작용을 하며 신체의 리듬을 조절한다. 따라서, LF와 HF 절댓값의 비교보다는 백분율을

통한 상대 비교가 적절하여 식(2)와 같이 상대값을 도출하여 분석하였다(Park et al., 2014).

$$Normalization = \frac{Experiment\ Group}{Control\ Group} \quad (1)$$

(Experimental Group = Drive2, Drive3, Drive4)

$$ypower(\%) = \frac{y}{(LF + HF)} \times 100 \quad (2)$$

(y = LF, HF)

3. 연구결과

반복측정 분산분석 결과, HF와 LF 모두 유의수준 1%에서 통계적으로 차이가 인정되었다. 유의확률이 0.005로 귀무가설이 기각되어 집단 간에 차이가 있다고 말할 수 있으며 이후 수준 간 비교를 위해 최소 유의차 사후검정을 실시하였다(Table 2)(Table 3).

전체 실험군의 데이터를 분석한 결과 구형성 검정에서 유의확률이 0.05 이하로 집단 간의 분산이 동일하다고 할 수 없으므로, 개체 내 효과 검정에서 Greenhouse-Geisser을 통해 자유도를 조정하여 분석을 하였다.

그 결과 Table 2와 같이 유의확률 0.005로 유의수준 1%에서 유의한 차이가 나타난 것을 볼 수 있다. 귀무가설(H0)이 기각되어 네 집단의 분산은 다르다(구형성 불만족)고 할 수 있다.

교감신경계의 활동을 나타내는 LF의 경우 대조군인 기존 신호방식(Drive 1)으로 황색 신호를 제시하는 경우보다 실험군인 새로운 신호방식(Drive 2, 3, 4)으로 황색 신호를 제시하는 경우의 값이 더 증가하였으며 통계적으로 차이가 인정되었다(p<0.05). 하지만 실험군끼리 비교하였을 때에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

부교감신경계의 활동을 나타내는 HF의 경우 대조군과 실험군을 비교한 결과 대조군인 기존 황색 신호체계(Drive 1)보다 실험군인 새로운 신호체계(Drive 2, 3, 4)의 값이 감소하였으며 통계적으로 차이가 인정되었다(p<0.05). 하지만, 실험군끼리의 비교에서는 HF값이 점점 상승하는 경향을 보였지만 그 차이는 유의수준 5%에서 인정되지 않았다

Table 2. impact test in individual

Source	The degree of freedom	Mean square	F	p-value
Greenhouse-Geisser	2.216	8768.546	5.844	0.005

Table 3. Comparison of LF, post-hoc test

Level	Mean (SD)	F	p	post-hoc (p)
(N) Control Group (Drive1)	50.00 (0.00)	5.844	0.05*	
(A) Drive2	65.33 (5.61)			(N) < (A) (-15.33)
(B) Drive3	64.29 (6.27)			(N) < (B) (-14.29)
(C) Drive4	62.97 (5.75)			(N) < (C) (-12.97)

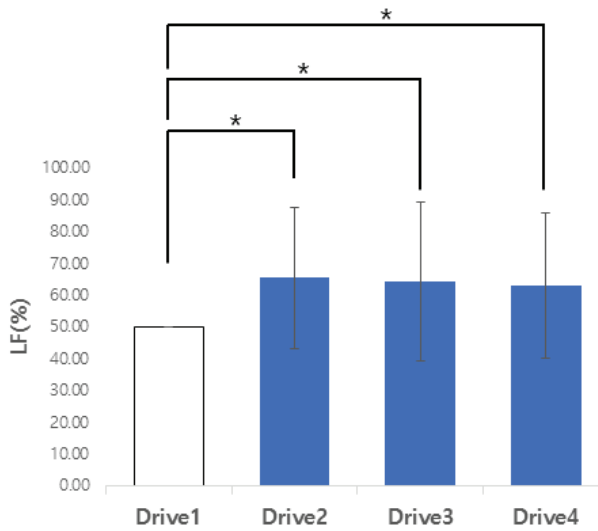


Fig. 7. Comparison of LF

Table 4. Comparison of HF, post-hoc test

Level	Mean (SD)	F	p	post-hoc (p)
(N) Control Group (Drive1)	50.00 (0.00)	5.844	0.05*	
(A) Drive2	34.67 (5.61)			(N) > (A) (15.33)
(B) Drive3	35.71 (6.27)			(N) > (B) (14.29)
(C) Drive4	37.04 (5.75)			(N) > (C) (12.97)

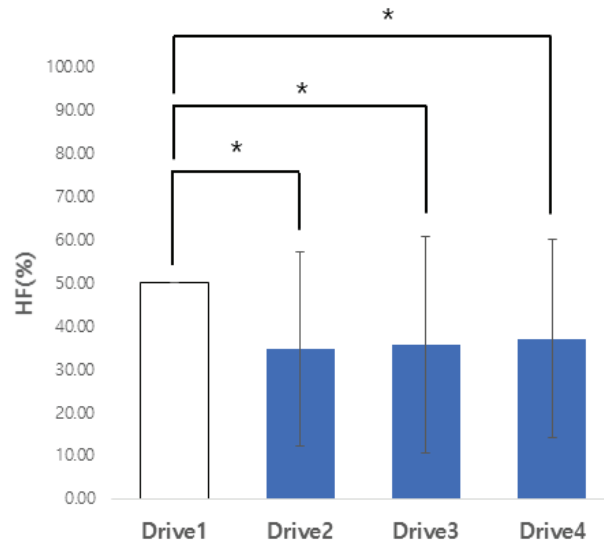


Fig. 8. Comparison of HF

종합해보면, 대조군보다 실험군의 모든 집단에서 HF값은 감소하고 LF값은 상승하였으나, 각 실험군끼리 비교한다면 HF값은 증가하고 LF값은 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, 대조군에 비해 모든 실험군에서 LF값의 출현이 큰 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 황색 신호 딜레마 상황을 극복하기 위해 새로운 대처모형을 제안하고 이를 초보운전자 중심으로 생체신호를 통해 증명하고자 하였다. 자율신경계의 반응을 관찰하기 위해 심전도를 측정하였으며 신체적 이완과 부교감신경계에 대한 지표인 HF와 긴장과 교감신경의 활성화의 지표인 LF에 대해 분석하였으며 위의 생체신호를 통해 신체적 반응을 관찰하고자 하였다(Jang et al., 2019).

실험 결과, 실험군 모두 HF의 출현보다 LF의 출현이 많았다. 세 실험군 모두 대조군보다 HF값이 감소하고 LF값이 증가하는 경향을 보였다. 기존 황색 신호를 제시하는 것보다 새로운 황색 신호체계를 제시하는 것이 부교감신경의 활동이 감소하는 경향을 파악할 수 있었다. 즉, 새로운 황색 신호체계들을 제시할 때, 신체적 긴장이 이루어진 것인데 이는 본 연구의 가설과 다른 결과를 나타내었다. 교감신경과 부교감신경의 수치가

한쪽으로 너무 높게 나타날 경우, 신체적으로 지나치게 이완되거나 긴장하게 됨으로써 사고를 유발할 수 있다. 하지만 본 연구의 결과, LF : HF의 비율이 6:4로 선행연구(M. Malik et al., 1996)에서는 이 비율을 자율신경계의 이상적인 균형이라고 본다.

기존의 신호체계보다 새로운 신호체계들이 유의한 차이를 보였지만 실험군끼리의 비교에서는 차이를 보이지 않았는데 그 이유로 접해보지 못한 새로운 신호 체계들에 대한 반응을 보인 것으로 보인다.

하지만 각 실험군 간의 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았지만 세 가지 실험군의 LF : HF의 비율이 6:4로 자율신경계의 이상적인 균형을 보임으로 기존의 신호체계에 비해 안정적으로 딜레마 존을 통과할 수 있을 것으로 기대한다. 추가연구를 통해서 반복적으로 새로운 신호체계를 운전자에게 제시할 경우 본 연구에서 주장하는 비율이 유지되는지를 확인하고 속력을 달리하여(60, 80, 100km/h) 속력별로 어떠한 신호 체계가 운전자에게 제일 안정을 줄 수 있을지에 대해 알아볼 예정이다.

본 연구에서 주장하는 비율이 Driver's performance에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 선행연구(Lee et al., 2005)의 실험 결과인 운전자 최초 반응시간이 기존 신호방식보다 새롭게 제시한 신호방식들(노란 신호 점멸조건, 중복신호 조선)이 더 짧은 것을 참고해 추가연구를 통해서 최초 반응시간을 측정하여 본 연구에서 주장하는 비율이 최초 반응시간에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 예정이다.

본 연구에서 제안한 대처모형으로 운전자가 딜레마 존을 자율신경계의 이상적인 균형이 나타나는 것을 알 수 있었다.

하지만, 교차로의 특성상 여러 변수가 존재할 수 있는데 본 연구에서는 주행 시속을 제한하고 주변 차량이 없도록 통제하여 진행되었고, 또한 숙달된 운전자가 아닌 초보 운전자들을 대상으로 하였기에 초보 운전자들이 느끼는 운전에 대한 긴장감과 시뮬레이션 운전상황에서 시뮬레이션 상의 신호등이 아닌 실제 신호등을 통해 신호를 통제하여 피실험자가 괴리감을 느낄 수도 있다는 한계점이 있다. 이러한 점을 반영하여 교차로 통과속도, 일차선 혹은 다차선, 실제 주행환경과 같이 주변에 주행하는 차량을 추가하는 등 여러 변수

를 반영하고 시뮬레이터 상에 신호를 통제할 수 있게 환경을 조성할 예정이다. 그 이후, 자율신경계 반응뿐만이 아닌 뇌파측정을 통한 중추신경계의 반응과 정량적 분석인 신체, 정신적인 반응뿐만 아니라 정성적 분석을 위한 주관평가를 통해 피실험자가 각 신호방식에 대해 어떤 주관적인 반응을 보이는지 반영한 연구가 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Jang, E. H., Kim, A. Y., Jang, Y. W., Kim, B. S., Choi, Y. B., Kim, S. C., Lee, S. K., & Kim, S. H. (2019). Effects of the combination of oxygen and color light on stress relaxation: Psychological and autonomic responses. *Science of Emotion & Sensibility*, 22(1), 55-64. DOI: 10.14695/KJSOS.2018.22.1.55
- Jang, Y. K. (2000). The Development of a detector design method and a signal control strategy to clear a dilemma zone. (Master dissertation). Ajou University, Suwon, Korea.
- Kim, B. S., Kang, J. K., Min, B. C., & Min, Y. K. (2010). The changes of the cognitive load's level and the heart-rate due to driving road condition complexity. *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 11(1), 241-251.
- Kim, M. S., Kim, Y. N., & Heo, Y. S. (2014). Characteristics of Heart Rate Variability Derived from ECG during the Driver's Wake and Sleep States. *Transaction of KASE*, 22(3), 136-142. DOI: 10.7467/KSAE.2014.22.3.136
- Lee, G. D., Kim, M. S., Kim, J. S., Kim, D. G., Oh, J. H., & Yu, S. J. (2012). Effects of blowing to face on driver's sleepiness and ECG. *In Proceeding of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, 543-546.
- Lee, J. U., Lim, S. H., & Ryu, S. G. (2007). A Surveillance Permissible Range of Traffic Light Violation Considering a Dilemma Zone. *The Seoul Institute*, 8(2), 155-167.
- Lee, J. Y., & Lee, J. S. (2004). The effect of traffic signal display patterns on driver's vehicle control

- in yellow interval dilemma situation. *Journal of the Korea Data Analysis Society*, 6(6), 1567-1586.
- Lee, J. Y., & Lee, J. S. (2005). The effects of traffic signal display pattern and signal location on driver's vehicle control in yellow interval dilemma situation. *Research in Psychological Science*, 4(-), 161-183.
- Lee, S. H., Lee, S. H., & Park, J. N. (2003). A study on driver behavior and dilemma zone during yellow interval at signalized intersections. *Journal of Korean Society of Transportation*, 21(4), 7-16.
- Lee, Y. C., Kim, B. S., Lim, D. H., Kim, H. W., Ji, D. H., Min, B. C., & Min, Y. K. (2010). Autonomic nervous system responses in yellow interval dilemma situation. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 12(1), 185-194.
- Malik, M. J., Bigger, T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., & Moss, A. J. (1996). Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354-381.
DOI: 10.1111/j.1542-474X.1996.tb00275.x
- Nam, K. S., Ahn, B. J., & Kim, J. H. (2004). Factor extraction of the traffic accident using data mining techniques. *Journal of The Korean Data Analysis Society*. 6(2), 519-525.
- Moon, K. S., Hwang, K. I., Choi, E. J., & Oah, S. Z. (2015). Study on prevention of drowsiness driving using electrocardiography(LF/HF) index. *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(2), 56-62.
DOI: 10.14346/JKOSOS.2015.30.2.56
- Olson, P., & Rothery, R. (1962). Driver response to amber phase of traffic signals. *Highway Research Board*, 330, 40-51.
- Park, J. S., Kim, G. B., Jo, H. S., Kim, G. R., Kim, H. J., & Min, B. C. (2019). The ability of auditory stimuli to mask siren sounds in a vehicle graphic simulator. *Science of Emotion & Sensibility*, 22(3), 47-54. DOI: 10.14695/KJSOS.2018.22.3.47
- Park, K. J., & Jeong, H. J. (2014). Assessing methods of heart rate variability. *Annals of Clinical Neurophysiology*, 16(2), 49-54.
DOI: 10.14253/kjcn.2014.16.2.49
- Patel, M., Lal, S. K. L., Kavanagh, D. & Rossiter, P. (2011). Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Journal of Expert Systems with Applications*, 38(6), 7235-7242. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.12.028

원고접수: 2020.04.22

수정접수: 1차 2020.06.05.

2차 2020.06.17

게재확정: 2020.06.22