

동적 자동차 시뮬레이터에서 Simulator Sickness와 생리적 반응에 대한 연구

민병찬* · 전효정* · 성은정* · 정순철** · 김철중*

* 한국표준과학연구원 인간정보연구그룹

** 건국대학교 의과대학 의학공학부

A Study on Simulator Sickness and Physiological Responses in Dynamic Driving Simulator

Byung-Chan Min · Hyo-Jeong Jeon · Eun-Jung Sung ·
Soon-Cheol Chung · Chul-Jung Kim

* Ergonomics & Information Technology Research Group,
Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS)

** Dept. of Biomedical Engineering College of Medicine, KonKuk University

The study was to evaluate psychological and physiological changes of simulator sickness in the controlled condition of driving a car (1 hr. at speed of 60 km/h) in a graphic simulator. Simulator sickness was measured and analyzed every 5 min using both subjective responses(i.e., Simulator Sickness Questionnaire) and Physiological signals(EEG, HRV, Skin Temperature, GSR). The results showed that there was significant differences in subjective response 10 min after the main experiment. From 10 min after the driving, the level of subjective simulator sickness increased significantly, relative one of the rest condition. There also was significant differences in physiological responses between the rest and the 5 min after from the start of driving : for EEG, δ and θ at Fz area increased, while α decreased; the averaged R-R interval and skin temperature decreased; LF/HF and GSR increased. The results indicated that simulator sickness was induced by activation of the autonomic nerves and inactivation of the central nerves.

Keywords : Simulator Sickness, Physiological Responses, Graphic Simulator

1. 서론

인간의 감성은 외부로부터의 감각정보에 대하여 직관적, 순간적으로 발생하며 복합적·종합적인 느낌으로 명확한 표현이 어렵고 각 개인과 환경 변화에 따라 다양하게 변화한다[6]. 이러한 감성을 연구하기 위하여 실험실과 같은 고정(固定) 공간에서 인위적으로 자극을 유발하거나 도로 주행과 같은 실제 상황에서 자연스럽게 유

발된 감성을 주관적 평가나 생리적 반응을 측정하여 평가해 오고 있다. 정적 환경에서 인간의 감성과 생리적 반응에 대한 연구는 시각적으로 유발되는 감성 및 정서에 따라 심박변화율, 피부온도, 피부전도도, 피부전기저항은 뚜렷한 차이를 나타내고[1,12,18,23] 심상 자극이나 사진 자극으로 유발된 긴장도를 구별할 수 있는 가능성을 보여주었다[7,11]. 심상 자극으로 유도된 쾌·불쾌도 평가에서는 전두엽의 주파수 대역에 따른 $\alpha/(\alpha+\beta)$ 는 불

쾌 감성일 때 감소하였다[11]. 동적 환경에서는 실제 도로 주행 시 속도변화 및 도로상황과 운전 형태에 따라 쾌-불쾌, 긴장-이완을 유발시켰을 때 심박변화율, 피부온도, 피부전도도가 변화하였고 부정적인 감성 자극이 주어졌을 때 심박변화율로부터 교감신경의 활성이 증가하였다[4,8]. 이와 같이 감성에 대한 여러 연구가 수행되었으나 제한된 실험실 내에서는 자연스러운 감성 유발이 어렵고 실제 상황에서 일어나는 자극에 대한 실험은 여러 위험 요소에 노출되어 있으며 자극조건이 제한되어 다양한 감성 변화에 대한 자료를 얻기 힘든 단점이 있다[5].

근래에 이러한 단점을 보완하기 위하여 실제 환경과 비슷하게 제작된 시뮬레이터에서 감성 측정과 평가 과정을 체계화하고 제어하여 실험자가 요구하는 감성요소를 반영함으로써 이에 따른 심리적·생리적 반응에 대한 연구가 진행되고 있다[2,10]. 그러나, 시뮬레이터와 같은 가상환경에서는 개인적 요인(연령, 인종, 성별, 개인적 특성 등), 시뮬레이터 시스템 요인(운행속도, frame rate, 시각장(field of view) 등), 작업수행 관련 요인으로 인하여 현실감과 재현성이 낮아 멀미, 메스꺼움, 구토, 뿌연 시야, 눈의 피로 등 Simulator Sickness로 일컬어지는 부작용이 보고되었다[16,17]. Simulator Sickness 평가는 질문법(questionnaire)과 자세시험법(postural test)이 주로 이용되고 있으며[17] 생리적 측정법을 이용하는 경우는 잘 알려져 있지 않지만 일부 연구에서 심박 간격(heart period), 빈맥(頻脈, tachygastria), 피부전도도(skin conductance level)가 Simulator Sickness에 민감한 반응을 보인다고 한다[20].

주관적인 Simulator Sickness에 대한 연구에서 피험자 중 70~80%가 가상현실 시스템에 집중할 후 Simulator Sickness 증상이 나타났고[2,24] 이러한 증상은 가상, 동적 시뮬레이터, 비행 시뮬레이터에서 주행 시 노출되는 시간에 따라 증가하였다[5,10,22]. 이에 따른 생리적 반응은 연구마다 차이가 있으나 뇌파 반응은 일부 부위에서 실험에 집중했을 때 실험 전에 비해 α 파는 감소하고 δ 파는 증가하였다[2]. 또한 심박변화율, 피부전기저항은 증가하고 피부온도는 감소하여 자율신경계에서 교감신경의 활성이 증가하는 것으로 나타났다[5]. 가상 시뮬레이터에서 주관적 Simulator Sickness와 생리적 반응의 상관관계에서는 뇌파 반응에서만 유의한 상관관계가 나타났는데 Simulator Sickness가 증가할수록 전체 주파수 대역에 대한 δ 파가 높았고 α 파, β 파, θ 파는 낮았다고 한다[9].

이와 같이 정적, 동적 환경에서 감성에 대한 연구가 이루어지고 있는데 실제상황에서의 어려움을 보완할 수 있어 실제 환경과 비슷하게 제작된 시뮬레이터를 이용하는 경우가 많다. 그러나 Simulator Sickness의 발생으로

정확한 자료를 측정하는데 어려움이 있다. 그리고, 개인마다 자극에 따라 심리·생리적인 반응은 다양하게 나타나고 있으며, 가상현실에서도 비슷한 현상이 발생되고 있다[2].

본 연구에서는 시뮬레이터에서 발생하는 Simulator Sickness의 변화와 생리적 반응에 대하여 알아보기 위하여 동적 자동차 시뮬레이터를 이용하여 주관적 Simulator Sickness와 자극 제시에 따른 뇌파, 심박변화율 등 생리적 반응을 측정하였다. 또한 성별 및 sickness 수준에 따른 Simulator Sickness와 생리적 반응의 관련성에 대해서도 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 조사 대상자

조사대상자는 연령이 만 20세 이상이고 운전경력이 1년 이상인 건강한 성인 18명(남자 : 10명, 여자 : 8명)으로 평균연령은 23.9±1.9세이었다. 실험 전 중추·자율신경계에 영향을 줄 수 있는 담배, 커피, 약물, 음주의 섭취를 금하였다. 실험 전 실험목적과 실험과정에 대해 충분히 이해시킨 후 시뮬레이터 조작에 익숙해지도록 하기 위하여 실험 과정과 동일한 환경(속도, 조명, 주행 차선)에서 5분~8분 정도 운전 연습을 한 후 실시하였다. 본 실험에 참여한 피험자들은 시뮬레이터 경험에 대한 구두 질문에 대하여 모두 ‘경험이 없다’고 응답하였다.

2.2 실험장비 및 측정

실험에 이용된 자동차 시뮬레이터는 Open GVS 4.2를 이용한 3D graphic engine과 LCD projector를 사용하여 80 inch rear projection screen 위에 30(H)×25(V)의 시각장(field of view), 30 frame/sec로 투사하였고 motion은 3축의 유압 시스템으로 구성되어 있다.

Simulator Sickness는 16문항으로 구성된 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)를 참조하여 4점 척도(0=느끼지 않는다, 1=조금 느낀다, 2=보통 느낀다, 3=심하게 느낀다)로 조사하였다[21]<표 1>. 생리신호는 뇌파(Electroencephalogram : EEG)로 Fz(정중 전두부, 1채널), Cz(정중 중심부, 1채널), 심전도(Electrocardiogram : ECG, 1채널) 피부온도(Skin temperature : SKT, 1채널, 오른손 약지), 피부전기저항(Galvanic skin responses : GSR, 1채널, 오른손 검지와 중지)을 측정하였다. 생리신호 측정은 Biopac system과 Acqknowledge 3.5 프로그램을 이용하였고 sampling rate는 256 Hz로 설정하여 데이터를 수집하였다.

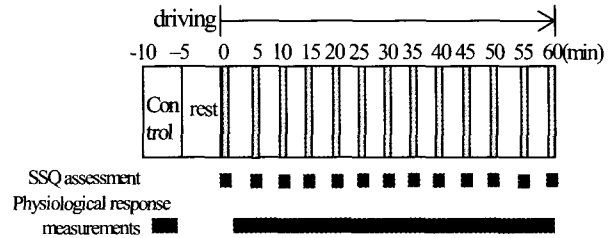
<표 1> Simulator Sickness Questionnaire 계산표

증상	각 증상에 대한 가중		
	N (메스꺼움)	O (안구운동불편)	D (방향감각상실)
일반적인 불편	○	○	
피로		○	
두통		○	
눈의 피로		○	
눈의 초점을 맞추기가 어려움		○	○
침 분비의 증가	○		
발한	○		
메스꺼움	○		○
집중하기 곤란함	○	○	
머리가 팽창 느낌			○
뿌연 시야		○	○
눈을 떴을때의 현기증			○
눈을 감았을때의 현기증			○
빙빙도는느낌의 어지러움			○
위에대한부담감	○		
트림	○		
합 계	<1>	<2>	<3>
점수			
N=<1>x9.54			
O=<2>x7.58			
D=<3>x13.92			
TS = (<1>+<2>+<3>)x3.74 빈 칸의 가중치는 0			

2.3 실험과정

동적 자동차 시뮬레이터에서 주행방법은 2차선 도로에서 일정한 차선(오른쪽 차선)으로 속도는 60±10km/h를 유지하여 1시간동안 주행하였고 스크린 조명 외의 조명은 모두 꺼진 상태에서 실시하였다. 피험자는 시뮬레이터에서 브레이크 페달, 가속 페달 및 운전대를 이용하여 주행하였고, 주행화면은 주행 전 실험자가 컴퓨터로 조정하여 실시하였다. 주관적 Simulator Sickness는 주행 전과 후, 주행 중 5분마다 실시하였고 문항에 대해 구두로 실험자가 묻고 조사대상자가 빠른 시간 내에 점수로 답변하도록 하였다. 주행 전 안정상태에서 측정된 값을 control 조건으로 정하여 주행 시 측정된 값과 비교하였

다. 생리 신호는 주행 전 5분, 주행하는 동안 연속적으로 1시간동안 측정하였다<그림 1>. 주행할 때는 편안한 마음으로 실험에 집중하도록 하였다.



<그림 1> 실험 과정

2.4 데이터 분석

주관적 평가는 SSQ 계산표에 의하여 3가지 증상군(메스꺼움, 안구운동불편, 방향감각상실)과 3가지 증상군을 합한 Total Score(simulator sickness)를 계산하여 평균과 표준편차를 구하였다. 조사대상자들의 실험 후 Total Score(Simulator Sickness) 평균값(60.88)을 기준으로 Sick군(60.88 이상)과 Nonsick군(60.88 미만)으로 분류하였다.

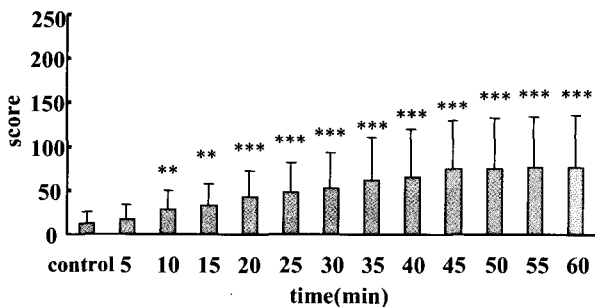
뇌파는 EOG(Electrooculogram)에 의한 artifact를 제거한 후 FFT(Fast fourier transform)법을 실시하여 시간영역(time domain)의 자료들을 모두 주파수 영역(frequency domain)의 자료로 변환하였다. FFT법을 통해 주파수 대역별로 δ파(0.5~4Hz), θ파(4~8 Hz), α파(8~13Hz), β파(13~30Hz)의 상대 파워 스펙트럼 값을 구하였고 안정 시의 값에 대하여 NS (normalize sensitivity)한 값으로 비교 분석하였다. 심박변화율, 피부온도, 피부전기저항은 실험 전 5분, 주행 60분 중 5분 간격으로 생리신호를 분석하였다. 심박변동율(Heart rate variability, HRV)은 ECG에서 검출된 R 포인트로부터 평균 R-R 간격을 구하고 전력 스펙트럼 분석으로 주파수 대역에 따라 LF(Low Frequency : 0.04~0.15 Hz), HF(High Frequency : 0.15~0.4 Hz)를 구하였다. 그 외 피부온도와 피부전기저항은 Acqknowledge 프로그램에서 신호 진폭의 평균을 구하였다.

주관적 Simulator Sickness와 각 생리신호 측정값은 시간에 따라 평균과 표준편차를 구하였고 생리신호는 주행 전(control)의 값을 기준으로 평균화시켜 성별, Sickness 수준에 따라 비교 분석하였다. 모든 자료의 통계적 분석은 SPSS 프로그램을 이용하여 T-test로 유의차를 검증하였고 주관적 Simulator Sickness와 각 생리적 반응간의 상관관계는 각 항목의 평균값에 대하여 Pearson의 상관계수를 구하여 검토하였다.

3. 결 과

3.1 주관적 Simulator Sickness

전체 조사대상자들의 Total Score(Simulator Sickness)는 <그림 2>에서 control과 각 주행시간대별로 비교한 결과 control에 비해 주행 10분 후(p<0.01), 15분 후(p<0.01)에서 유의한 차이가 있었고 control에 비해 주행 20분 후에서 60분 후까지 유의한 차이가 있었다(p<0.001). 시간경과에 따른 Simulator Sickness는 control에 비해 주행 45분 후까지 점차 높아졌으며 주행 45분 이후로 크게 변화하지 않았다. 다른 Simulator Sickness 연구에서는 가상 환경에 노출된 지 15분 이내에 Sickness 증상이 발생하며 30분 이상 노출되었을 경우 35분~60분 이후로 가장 심하였다[24]. 이는 다른 시뮬레이터 주행에서 나타난 결과와 비슷하며[5,22], 고정되어 있는 화상 시뮬레이터(fixed-based simulator)에서 주행 시 Simulator Sickness가 1시간동안 계속 증가했던 것에 비해 본 연구에서 이용한 운동성이 있는 자동차 시뮬레이터(motion-based simulator)에서는 45분 이후로 크게 증가하지 않았다.



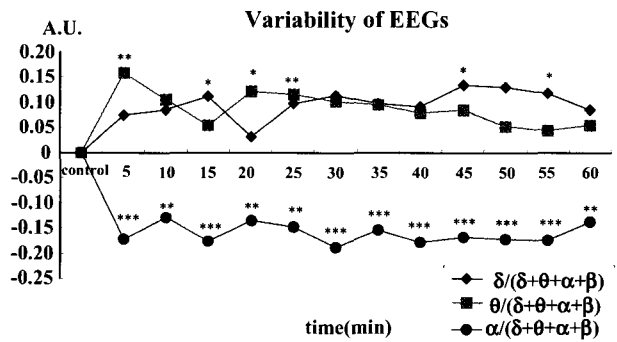
<그림 2> 시간 경과에 따른 Total Score
 (** p<0.01, *** p<0.001)
 * control과 각 주행시간대의 유의차

3.2 생리적 반응

3.2.1 뇌 파

뇌파는 일반적으로 주파수 대역에 따라 δ , θ , α , β 파로 구분한다[13]. 본 연구에서는 전체 주파수 대역에 대한 δ , θ , α 의 상대적 비율, 즉 $\delta/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$, $\theta/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$, $\alpha/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 를 구하였다. Fz 부위에서 전체 조사대상자들의 주파수 대역에 따른 분석 결과는 <그림 3>과 같다. $\delta/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 와 $\theta/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 는 control(X축) 보다 주행 시 높았고 $\alpha/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 는 주행 시 control에 비해 낮았다. $\delta/(\delta+\theta+$

$\alpha+\beta)$ 는 control보다 주행 15분 후(p<0.05), 45분 후(p<0.05), 55분 후(p<0.05)에서 유의한 차이가 있었다. $\theta/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 는 control에 비해 주행 5분 후(p<0.05), 20분 후(p<0.05), 25분 후(p<0.05)에서 유의한 차이가 있었다. $\alpha/(\delta+\theta+\alpha+\beta)$ 는 control에 비해 주행 10분 후(p<0.01), 20분 후(p<0.01), 25분 후(p<0.01), 60분 후(p<0.01)에서 유의차가 인정되었고 주행 5분 후(p<0.001), 주행 15분 후(p<0.001), 주행 30분 후(p<0.001), 주행 35분 후(p<0.001), 주행 40분 후(p<0.001), 주행 45분 후(p<0.001), 주행 50분 후(p<0.001), 주행 55분 후(p<0.001)에서도 유의한 차이가 인정되었다.



<그림 3> Fz 부위의 뇌파변화율
 (* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001)

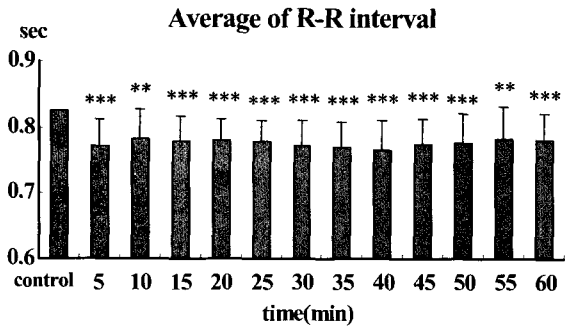
뇌파에 대한 연구에서 δ 파는 인간의 정신부하에 따라 증가하고[14], 가상현실 시스템에 노출되었을 때 증가하였다[2]. θ 파와 α 파는 작업수행도의 감소와 피로와 관련된다고[22] 하며 θ 파는 불만상태, 졸고 있을 때 나타나기도 한다[26]. 또한 가상현실이나 화상 시뮬레이터에서 δ 파는 증가하고 α 파는 감소하였다[2,5]. 본 연구에서 시간이 경과함에 따라 δ 파가 증가하고 α 파가 감소하는 경향을 나타내어 선행 연구 결과와 비슷하였고, 이는 시뮬레이터 주행 시 정신적인 부하, 단조로운 주행 환경으로 피로나 졸음이 발생함에 의한 것이며, 또한 기분 상태, 운전 경험, 가상현실 경험 등 복합적인 요인들이 작용할 수 있을 것으로 추측된다.

3.2.2 심박변화율

심박변화율은 심전도로부터 평균 R-R 간격과 교감신경의 활성을 분석하였다. 주파수 대역에 따른 LF와 HF 값은 각각 교감신경의 활성과 부교감신경의 활성을 반영한다[25]. 이 논문에서는 LF/HF 비로 부교감신경에 대한 교감신경의 활성비를 알아보았다.

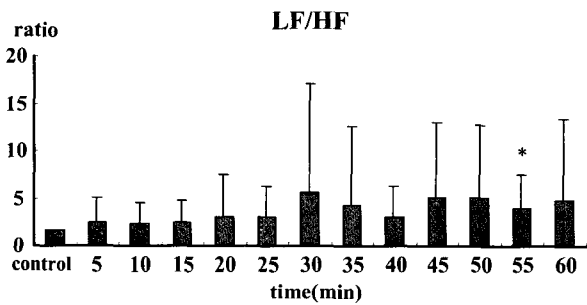
평균 R-R 간격은 <그림 4>에서 전체 조사대상자들을 분석했을 때 control에 비해 주행 시 감소하였다. Control

에 비해 주행 10분 후($p<0.01$), 55분 후($p<0.01$)에서 유의한 차이가 있었고 주행 5분 후($p<0.001$), 15분 후($p<0.001$), 20분 후($p<0.001$), 25분 후($p<0.001$), 30분 후($p<0.001$), 35분 후($p<0.001$), 40분 후($p<0.001$), 45분 후($p<0.001$), 50분 후($p<0.001$), 60분 후($p<0.001$)에서도 유의한 차이가 나타났다.



<그림 4> 주행시간 경과에 따른 평균 R-R간격의 변화 (** $p<0.01$, *** $p<0.001$)

<그림 5>와 같이 전체 조사대상자들의 주파수 대역에 따라 LF/HF를 분석한 결과 control에 비해 주행 시 LF/HF는 높았다. control과 주행시간대별로 비교하였을 때 control에 비해 주행 55분($p<0.05$) 후에서만 유의한 차이가 있었다.



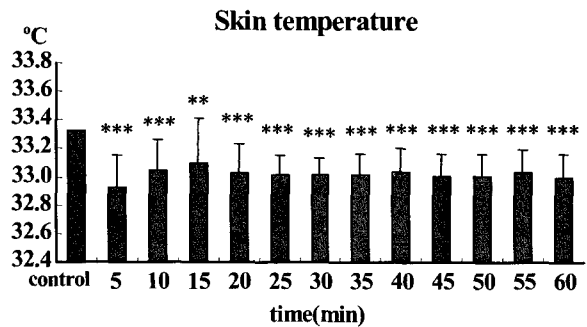
<그림 5> 주행시간 경과에 따른 교감신경 활성비의 변화 (* $p<0.05$)

신체적 작업이나 정신적 작업이 감소하여 심장활동이 안정된 상태로 유지되는 경우 R파와 R파의 시간간격은 증가하지만, 반대로 작업의 부하가 높아지면 심장활동이 활발해져 R-R 간격이 감소하며[3] 운전자의 경우 작업 수행능력이 감소하여 피로해지면 스펙트럼 분석에 따른 교감 신경의 활성도 증가한다[15]. 또한 도로 주행 환경 및 운전 형태, 사진 자극으로 불쾌하거나 긴장감이 유발되

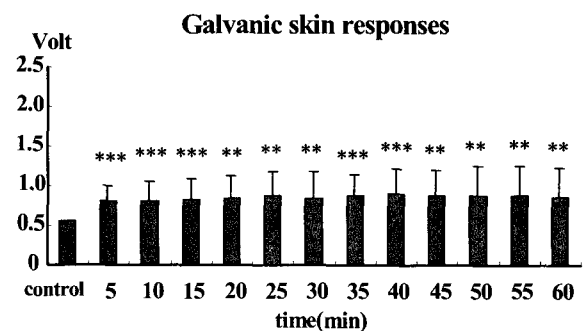
었을 때도 평균 R-R 간격은 감소하고 교감신경의 활성은 증가하였다[4,7,8]. 본 연구의 결과로 심박변화율은 시뮬레이터 주행 시 작업부하나 긴장감, 피로 등으로 심박 간격은 감소하고 교감신경활성이 증가한 것으로 추측된다.

3.2.3 피부온도 및 피부전기저항

피부온도는 <그림 6>과 같이 전체 조사대상자들의 경우 control에 비해 주행 시 낮았으며 control과 각 시간대별로 비교하였을 때 control보다 주행 5분 후($p<0.001$), 10분 후($p<0.001$), 15분 후($p<0.01$), 20분 후($p<0.001$), 25분 후($p<0.001$), 30분 후($p<0.001$), 35분 후($p<0.001$), 40분 후($p<0.001$), 45분 후($p<0.001$), 50분 후($p<0.001$), 55분 후($p<0.001$), 60분 후($p<0.001$)에서 유의한 차이가 있었다.



<그림 6> 주행시간 경과에 따른 피부온도의 변화 (** $p<0.01$, *** $p<0.001$)



<그림 7> 주행시간 경과에 따른 피부전기저항의 변화 (** $p<0.05$, *** $p<0.001$)

피부전기저항의 경우 <그림 7>에서 전체 조사대상자들은 control보다 주행 시 높아졌으며 control과 주행 시간대별로 비교하면 control보다 주행 5분 후($p<0.001$), 10분 후($p<0.001$), 15분 후($p<0.001$), 20분 후($p<0.01$), 25분 후($p<0.01$), 30분 후($p<0.01$), 35분 후($p<0.001$), ($p<0.01$),

30분 후(p<0.01), 35분 후(p<0.001), 40분 후(p<0.001), 45분 후(p<0.01), 50분 후(p<0.01), 55분 후(p<0.01), 60분 후(p<0.01)에서 유의한 차이가 있었다.

이러한 결과는 정적 환경에서 심상, 사진 자극을 제시하여 불쾌하거나 긴장감이 유발되면 피부온도는 감소하고 피부전기저항은 증가하였고[6,7], 동적 환경에서 가상 현실이나 가상 시뮬레이터 주행 시 Simulator Sickness와 관련하여 피부온도는 감소하고 피부전기저항, 피부전도도는 증가한 결과와 대체로 일치하는 것이었다[2,5].

3.3 주관적 Simulator Sickness와 생리적 반응의 상관관계

주관적 Simulator Sickness와 뇌파, 자율신경 등 생리적 반응에 대한 상관 분석 결과는 <표 2>와 같다. 전체 피험자, 성별, Sickness 수준에 따라 Simulator Sickness에 대한 Total Score와 뇌파, 평균 RR 간격, LF/HF, 피부온도, 피부전기저항을 평균화하지 않은 측정된 값을 이용하여 상관 분석하였다. 전체 피험자들의 Total Score는 피부온도(p<0.05), 피부전기저항(p<0.01)과 유의한 음의 상관관계를 나타냈다. 남자 피험자들의 Total Score는 피부온도(p<0.01), 피부전기저항(p<0.01)과 유의한 음의 상관관계를 나타냈고 여자 피험자들의 Total Score는 Cz 부위의 $\delta/(\delta+\theta+a+\beta)$ 와 피부전기저항과 유의한 양의 상관관계를 나타냈다(p<0.01). Sickness 수준에 따른 Total Score는 Nonsick 그룹의 평균 RR 간격(p<0.05), 피부온도(p<0.05)와 유의한 음의 상관성이 있었다. Sick 그룹에서 Total Score와 Fz 부위의 $\delta/(\delta+\theta+a+\beta)$ 는 양의 상관관계를 나타냈고(p<0.01), $a/(\delta+\theta+a+\beta)$ 는 음의 상관관계를 나타냈으며(p<0.05), Cz 부위에서는 $\delta/(\delta+\theta+a+\beta)$ 와 양의 상관성이 있었다(p<0.05). Sick 그룹에서 Total Score와 피부전기저항은 음의 상관관계를 나타냈다(p<0.01).

4. 결 론

본 연구는 동적 자동차 시뮬레이터에서 주행하는 동안 Simulator Sickness와 생리적 반응을 측정하고 Simulator Sickness가 생리적 반응에 미치는 영향을 알아보았다.

자동차 시뮬레이터로 주행 시 전체 피험자들의 Simulator Sickness는 주행 시간이 경과함에 따라 증가하였다. 생리적 반응은 주행 전과 비교하였을 때 뇌파 분석 결과 δ 파는 증가하였고, α 파는 감소하였다. 심박변화율은 주행 시 평균 RR 간격은 감소하였고, 교감 신경 활성을 나타내는 LF/HF는 높았다. 주행 전보다 주행 시 피부온도는 낮아졌고, 피부전기저항은 높았다. 생리적 반응은 주행 전에 비해 주행했을 때 차이는 있었으나 시간 경과에 따른 일정한 형태의 변화는 볼 수 없었다. Simulator Sickness와 각 생리신호를 전체 피험자, 성별, Sickness 수준에 따라 상관관계를 분석한 결과에서도 관련성을 뚜렷하게 설명하기는 어려웠다. 이러한 실험 결과로부터 주행 시 Simulator Sickness 발생에 따른 생리적 반응의 경향을 관찰할 수 있었다. 본 실험은 소수의 청년층을 대상으로 하여 일반화하기는 어렵고 시뮬레이터상의 단순로운 주행 화면, 실제 주행과 비교해 현실감 감소와 같은 시각적인 요인과 가상현실 경험, 시뮬레이터 주행으로 인한 피로 등 여러 요인이 복합적으로 작용하였을 가능성도 예상된다.

반복성 및 재현성, 그리고 위험성이 적다는 장점을 가진 시뮬레이터 및 가상현실을 이용한 감성 평가는 향후에도 수행되리라 생각되며 보다 현실감을 보완시켜 Simulator Sickness를 최소화하도록 해야 할 것이다. 또한, 보다 광범위한 조사대상자로부터 다양한 생리적 반응에 대한 데이터를 얻고 객관화될 수 있는 생리적 감성 지표가 도출되어야 할 것으로 사료된다.

<표 2> Simulator Sickness와 생리적 반응의 상관분석(* p<0.05, **p<0.01)

Physiological measurements (Mean values)		Total Score(Simulator Sickness)				
		Total subjects (n=18)	Male (n=10)	Female (n=8)	Nonsick group (n=10)	Sick group (n=8)
$\delta/(\delta+\theta+a+\beta)$	Fz	0.026	0.001	0.139	0.023	0.269**
	Cz	-0.007	-0.078	0.270**	0.083	0.260*
$\alpha/(\delta+\theta+a+\beta)$	Fz	-0.010	0.024	-0.140	0.023	-0.207*
	Cz	0.057	0.150	-0.173	-0.052	-0.127
R-R interval		-0.055	-0.107	0.020	-0.204*	0.075
LF/HF		-0.019	0.074	-0.086	0.155	0.097
Skin temperature		-0.137*	-0.247**	-0.043	-0.214*	-0.119
Galvanic skin response		-0.280**	-0.511**	0.381**	-0.141	0.315**

참고문헌

- [1] 권의철, 김동윤, 김동선, 임영훈, 손진훈 : “심박변화 분석을 이용한 장면시자극에 대한 감성측정에 관한 연구”, 한국감성과학회지, 1(1) : 93-103, 1998.
- [2] 김영운, 김현주, 정명숙, 이영혁, 문성재, 진창배, 고희동, 박병관, 박광석, 김현택 : “가상현실에서 의 운 행이 인체에 미치는 영향에 대한 심리생리학적 연구”, 한국감성과학회 2000년도 추계학술대회 발표 논문집, 한국과학기술연구원, 서울, pp. 242-248, 2000.
- [3] 노영한 : “운전자의 피로에 관한 연구”, 석사학위논문, 충북대학교, 1999.
- [4] 민병찬, 정순철, 김상균, 민병운, 오지영, 장진경, 신정상, 김유나, 김철중, 박세진 : “운전 및 도로 상황에 따른 자율신경계의 반응”, 한국감성과학회지, 2(1) : 61-68, 1999.
- [5] 민병찬, 정순철, 성은정, 전효정, 김철중 : “Simulator Sickness에 의해 유발되는 생리적 변화가 감성평가에 미치는 영향”, 한국감성과학회지, 4(1) : 23-31, 2001.
- [6] 이구형 ; “감성과 감정의 이해를 통한 감성의 체계적 측정 평가”, 한국감성과학회지, 1(1) : 113-122, 1998.
- [7] 전광진, 정순철, 민병찬, 정은지, 성은정, 강인형, 김철중 : “IAPS 사진 자극에 유발된 긴장도 감성 변화의 평가”, 한국감성과학회 2001년도 추계학술대회 발표논문집, 연세대학교, 상남경영관, 서울, pp. 134-137, 2001.
- [8] 정순철, 민병찬, 김상균, 민병운, 오지영, 김유나, 김철중 : “동적 시각 자극과 도로 굴곡 변화에 따른 자율신경계 반응”, 한국감성과학회지, 2(2) : 75-82, 1999.
- [9] 정순철, 민병찬, 김철중 : “Simulator Sickness에 대한 주관적 평가와 생리 반응과의 상관관계에 관한 연구”, 의공학회지, 2001.
- [10] 정순철, 민병찬, 신미경, 김철중 : “동적 시뮬레이터에서 속도와 운전 형태 변화에 따른 운전자의 감성 평가”, 산업경영시스템학회지, 제 24권 65집 : 51-63, 2001.
- [11] 정순철, 민병찬, 전광진, 김유나, 성은정, 신미경, 김철중 : “심상 자극에 의해 유발된 감성변화의 평가”, 한국감성과학회 2001년도 추계학술대회 발표논문집, 천안, pp.182-185, 2001.
- [12] Boucsein, W. ; Electrodermal activity, Plenum press, 1992.
- [13] Fisch, B.J. : Spehlmann's EEG Primer, Second revised and enlarged edition, Elsevier Science BV, Amsterdam, The Netherlands, 1991.
- [14] Harmony, T., Fernandez, T., Silva, J., Bernal, J., Diaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, E., Rodriguez, M. : "EEG delta activity : an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks", International Journal of Psychophysiology, 24 : 161-171, 1996.
- [15] Hartley, L.R. & Arnold, P.K., Smythe, G., Hansen, J. : "Indicators of fatigue in truck drivers", Applied Ergonomics 25(3) : 143-156, 1994.
- [16] Kennedy, R.S. Fowlkes, J.E. : "Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic : Implications for research", International Journal of Aviation Psychology, 2(1) : 23-38, 1992.
- [17] Kolasinski, G. : Simulator sickness in virtual environments, Tech Report 1027, Orlando : United States Army Research Institute of the Behavioral and Social Science, 1995.
- [18] Levenson, R. W. ; "Autonomic nervous system differences among emotions", Psychological Science, 3 : 23-27, 1992.
- [19] Makeig, S., Jung, T. : Changes in alertness are a principal component of variance in the EEG spectrum, Neuroreport 7 : 213-216, 1995.
- [20] Miller JC, Sharkey TJ, Graham GA, McCauley ME : "Autonomic physiological data associated with simulator discomfort", Aviat. Space Environ. Med. 64 : 813-819, 1993.
- [21] Robert S. Kennedy and Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, Michael G. Lilienthal : "Simulator Sickness Questionnaire : An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness", The International Journal of Aviation Psychology, 3(3) : 203-220, 1993.
- [22] Robert S. Kennedy, Kay M. Stanney, William P. Dunlap : "Duration and Exposure to Virtual Environments : Sickness Curves During and Across Sessions", Presence, 9(5) : 463-472, 2000.
- [23] Sohn, J.H., Sokhadze, E.M., Yi, I.G., Lee, K.H, Choi, S.S., : "Patterns of Autonomic Responses to Affective Visual Stimulation : Skin Conductance Response, Heart Rate and Respiration Rate Vary Across Discrete Elicited-Emotions", Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility, 1(1) : 79-91, 1998.
- [24] Sue V.G. Cobb, Sarah Nichols, Amanda Ramsey, John

R. Wilson : Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects(VRISE), Presence, 8(2) : 169-186, 1999.

[25] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American, Society of Pacing and Electrophysiology : Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, European Heart Journal 17 : 354-381, 1996.

[26] Walter, W. G. : The Living Brain, New york, Norton, 1953.