

자동차 시뮬레이터에서 Simulator Sickness에 의한 EEG 반응

김태은, 민병찬, 전효정, 전광진, 성은정, 정순철*, 김철중
한국표준과학연구원 산업측정표준부 인간·정보 그룹
*건국대학교 의과대학 의학공학부

EEG Responses by Simulator Sickness in Driving Simulator

T.E. Kim, B.C. Min, H.J. Jeon, K.J. Jeon, E.J. Sung, S.C. Chung*, C.J. Kim
Ergonomics & IT Group, Korea Research Institute of Standard and Science
*Dept. Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University

ABSTRACT

본 연구는 자동차 시뮬레이터에서 필연적으로 발생하는 Sickness와 생리신호 간의 관련성에 대해 알아보려고 하였다. 이를 위해 Driving Simulator에서 중추신경계의 EEG 생리신호를 측정하고 이의 정량적 분석을 통하여 Simulator Sickness가 생리신호에 미치는 영향을 검토하였다. 중추신경계의 뇌파반응은 주행시간의 경과에 따른 특정 경향은 나타나지 않았으나 안정에 비해 delta 파, theta 파의 증가와 alpha 파의 감소경향이 나타났다. 단, theta 파는 초기 5분에 증가한 수치가 시간이 지남에 따라 그 비율이 일정하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 Sick그룹과 Non-Sick그룹 및 남녀그룹의 비교결과에 대한 유의한 차이가 인정되었다.

keyword : EEG(Electroencephalogram), driving simulator, simulator sickness

1. 서론

동적환경에서의 여러 실험들이 동반하는 많은 제한점과 위험요소들을 해결하면서 동시에 동적 자극에 따른 인간의 감성 변화를 연구하기 위해서 Simulator를 구축하고 이의 사용을 통하여 인간의 감성을 연구하고자 하는 여러 시도가 있으며 이러한 추세는 산업 전반에 걸쳐 다양한 학문분야에서 나타나고 있다. 특히 자동차에 대한 실내 운전환경 및 주행성능기

술의 발전을 도모하기 위한 여러 연구가 시도되고 있는 가운데 이러한 목적으로 시행되는 실험들에 대한 객관적인 결과를 도출해내기 위하여 Simulator를 이용하여 그 편의성을 추구하고 있다.

최근에는 Driving Simulation이 가상의 주행 상황을 실시간으로 운전자에게 제공함으로써 차량의 주행성능이나 운전자의 반응 및 교통 시스템의 연구에 적용할 수 있다(고정훈 외, 1999)고 하여 가상 프로토타이핑, 운전자의 인

자 연구, 주행 상황 등의 연구가 이루어지고 있다(유완석 외,1999).

그런데 이러한 실험들은 Simulator의 사용 시 필연적으로 유발되는 인체의 부작용인 Simulator Sickness를 동반한다. 이의 대표적인 증상들로는 일반적인 불편, 피로, 두통, 안구운동의 불편, 구토, 메스꺼움, 방향감각 상실 등이 있는데, 이와 같은 Simulator의 사용으로부터 발생하는 Sickness는 여러 연구에 있어서 신뢰성있는 실험결과를 도출하는데 방해요인으로 작용할 것이므로 이의 객관적인 검토와 함께 생리적 반응 중 특히 EEG신호가 주행 중인 운전자의 불편함 혹은 정신적인 상태를 대변할 것으로 가정하고 이를 중심으로 분석을 시도하였다.

현재 Simulator Sickness를 정량화하는 주관적 평가법 중에서 가장 범용적으로 사용하고 있는 SSQ(Kennedy, et al, 1993)와 EEG반응을 비교 검토하였다. SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)의 항목으로는 일반적인 불편, 피로, 두통, 눈의 피로, 눈의 초점을 맞추기가 어려움, 침 분비의 증가, 발한, 메스꺼움, 집중곤란, 머리가 팽 찬 느낌, 뿌연 시야, 눈을 뗄 때의 현기증, 눈을 감았을 때의 현기증, 빙빙 도는 느낌의 어지러움, 위에 대한 부담감, 트림 등이 있다.

2. 실험 방법

2.1 실험대상

실험은 신체건강한 성인 17명(남자:10명, 여자:7명)을 대상으로 이루어졌으며 피실험자의 평균연령은 23.8 ± 1.9 세였다. 실험을 시작하기 전에 본 실험에 영향을 미칠 수 있는 담배, 카페인, 약물, 음주의 섭취를 금할 것을 피험자들에게 당부하고 충분한 수면을 취하도록 하였다. 실험이 진행되는 동안에는 안정된 자세로 운행할 것을 당부했으며 피험자의 눈은 화면의 중앙에 위치하도록 운전대의 높이를 조정하였다.

2.2 실험장치 및 측정부위

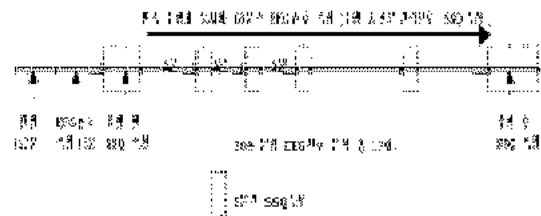
본 실험에 사용된 Simulator는 OpenGVS 4.2를 이용한 3D graphic engine과 NEC

MT-1030+ LCD projector로 80 inch rear projection screen 위에 30(H) X 25(v) FOV를 가지도록 영상을 초당 프레임 수 30 frame/sec로 투사하였고 motion은 3축 유압시스템으로 구성되었다.

EEG(Electroencephalogram) 측정장비로는 BiopacSystem의 BiopacMP100과 Acqnowledge 3.5 소프트웨어를 사용하였다. 측정된 EEG의 sampling rate는 256Hz로 설정하였다. 본 실험에서 생리학적 지표로 사용된 EEG의 electrode 부착부위는 국제 10-20법에 따라 설정한 정중 전두부(Fz)로 단극유도법을 사용하여 측정하였고 이에 따라 좌측 귓볼과 양 눈썹사이에도 각각 reference 와 ground용 electrode를 부착하였다. 각 electrode와 두피 사이의 저항은 5 kΩ 이내가 되도록 유지하였다.

2.3 실험 프로토콜

자동차 시뮬레이터에서 1시간동안 60 ± 10 km/h로 주행 시, 5분 간격으로 피험자의 Simulator Sickness에 대한 주관적 평가 수행과 EEG신호를 측정하였다. 실험 전 5분간 안정에 대한 신호를 측정하고 60분 주행동안 연속적으로 EEG신호를 측정하였다.



<그림 1> 실험 프로토콜

2.4 데이터 분석

본 연구는 중추신경계 뇌파(EEG)의 정중 전두부(Fz)신호를 전체 주행시간에 걸쳐서 5분 간격으로 총 12회 측정하였다. 이렇게 수집된 총 60 분간의 신호데이터 중에서 EEG분석을 위해 매회 5분간 데이터의 마지막 30초 분량에 해당하는 EEG신호를 사용하였다. 안정시의 5분간의 신호데이터도 마찬가지로 마지막

막 30초 분량을 사용하였다. 마지막 구간 30초의 EEG신호를 분석한 것은 5분 구간 중의 초기 2분 동안 이전5분간의 주행에 대한 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)의 주관적 평가가 이루어진 것을 고려하여 이에 대한 영향을 최소화하기 위해서였다.

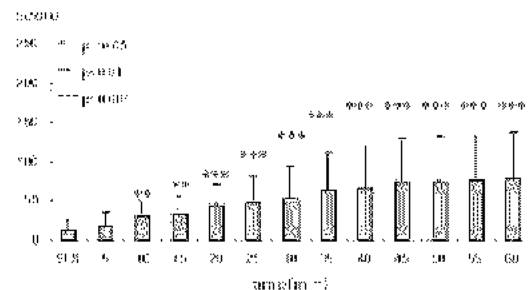
EEG신호는 EOG에 의한 artifact를 제거한 후 FFT(Fast Fourier Transform)법을 실시하여 시간영역(time domain)의 자료들을 모두 주파수 영역(frequency domain)의 자료로 변환하였다. FFT법을 통해 주파수 대역별로 delta파(0.5~4Hz), theta파(4~8 Hz), alpha파(8~13Hz), beta파(13~30Hz)의 상대 파워 스펙트럼값을 얻어냈으며 이에 대한 분석을 시도하였다. 또한, 생체신호의 특징적인 변화패턴을 조사하기 위하여 $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$, $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$, $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$, $\beta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 등의 파라미터를 사용하였다. 각 분석파라미터들은 안정 시의 값에 대하여 NS(normalize sensitivity)한 값으로 비교 분석하였다. 통계적 유의차는 SPSS 10.0을 사용하였으며 Paired t-test를 실시하여 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

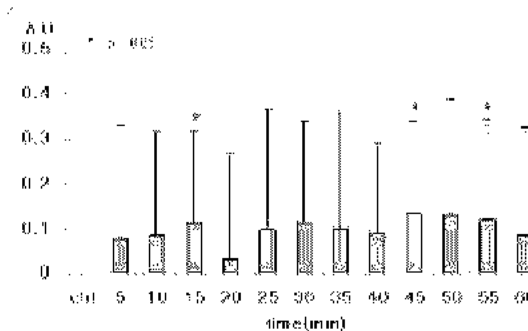
실험 결과는 우선, 피실험자 전체의 Driving Simulator에 대한 EEG반응을 살펴보고 두 번째, 피험자의 Total Simulator Sickness의 평균값을 기준으로 피험자의 Sickness값이 평균값 이상이면 Sick그룹, 평균값의 이하이면 Non-Sick그룹으로 나누어 평가하였다. 세 번째로는 피험자를 성별에 따라 분류하여 남녀간의 Sickness 증상에 대해 비교해보았다.

17명의 전체 피험자를 대상으로 한 EEG반응의 결과에서 보면 주행시간 경과에 따른 특정 경향은 발견되지 않았으나 안정에 비해 모든 시간대에서 δ 파, θ 파의 증가와 α 파의 감소 경향이 나타났다. 단, θ 파는 초기 5분 주행 시에 급격히 증가하다가 시간이 지남에 따라 그 비율이 일정하게 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 Graphic Simulator를 이용한 연구에서(정순철 외, 2001) $\delta / total$ 의 변화는 안정에 비해 Driving Simulator 주행 중에 증가

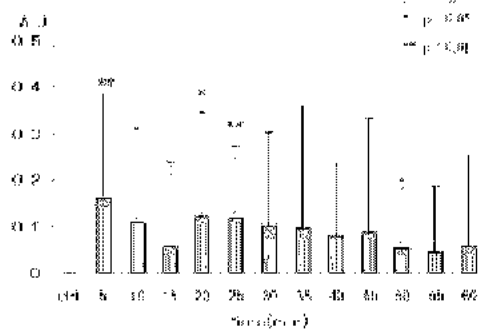
하였고 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 와 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화는 안정에 비해 Driving Simulator 주행 중에 감소하였다는 결과와 그 경향을 같이하고 있다. 그리고 주관적 평가에 의거한 Total Simulator Sickness평가에서는 시간이 지남에 따라 증가하는 추세를 보였는데 이는 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 지표에서의 시간경과에 따른 감소경향과 관련지어 볼 때 Simulator Sickness를 반영하는 중요한 인자중의 하나로 θ 파의 변화패턴을 고려할 수 있겠다. 이는 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 가 시간에 따른 변화와 가장 상관관계가 커서 Simulator Sickness의 민감도를 객관적으로 측정할 수 있는 생리지표가 될 수 있다는 선행연구(정순철 외, 2001)와 부합한다. 이외의 메스꺼움, 안구운동불편, 방향 감각상실 등의 Sickness증상은 시간경과에 따라 점차 증가하고 있는데 이의 경향이 뇌파 지표와는 별다른 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타났다. 뇌파는 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 지표를 제외하고 시간에 따른 일정 패턴을 나타내지 않았으나 $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 와 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 파라미터에서 시간 경과에 따른 유의차는 인정되었다.



<그림2>주관평가 Total Simulator Sickness평균(17명)

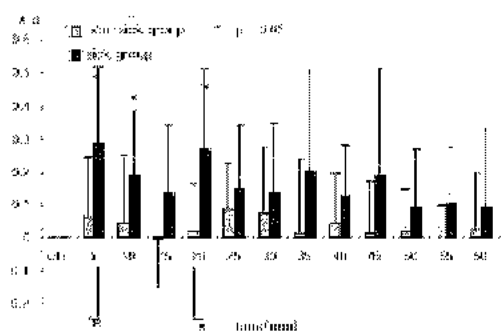


<그림3> 전체 $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화



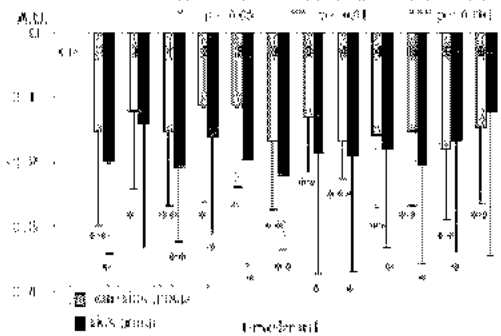
<그림4> 전체 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화

Sick그룹과 Non-Sick그룹에 대한 EEG데이터 분석 결과, 수면 및 졸음에 관계되는 δ 와 θ 파의 상대적 비율이 Non-Sick그룹에 비해 Sick그룹이 컸으며 이는 $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 와 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 그래프에서 그 경향을 확인할 수 있다. $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 그래프는 15분, 20분을 제외하고 주행시간 동안 계속 Sick그룹의 수치가 높았으며 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 그래프에서도 마찬가지로 모든 주행시간 동안 Sick그룹의 수치가 높게 나타났는데 특히 5분과 20분에서 Sickness수준별 유의차가 인정되었다. 결과적으로 수면 및 졸음에 관계되는 δ 파와 θ 파의 비율이 Sick그룹이 전 주행시간에 걸쳐서 Non-Sick그룹보다 높았으므로 Simulator Sickness증상의 출현은 δ 파와 θ 파의 증가와 관계가 있으리라 예상된다.



<그림5> Sickness수준별 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화

$\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 그래프에서는 Sick그룹의 α 파의 감소율이 주행 55분과 60분을 제외한 모든 주행시간 동안 Non-Sick그룹보다 컸다.

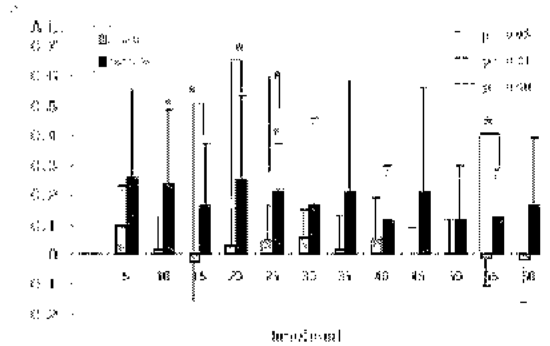


<그림6> Sickness수준별 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화

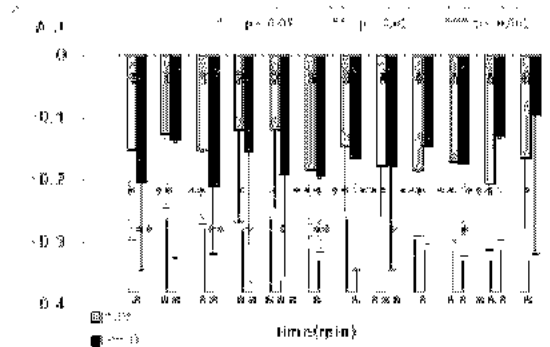
Simulator Sickness의 경향은 특히 Sick그룹에서 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 가 시간경과에 따라 일정하게 감소한 것과 관계가 있으리라 예상되며 이는 전체 피험자의 EEG반응과 유사하다. 그 외에도 전 주행시간에 걸쳐 Sick그룹은 δ 파의 우세, α 파의 저하, β 파의 저하 경향이 나타났다.

남녀 그룹별 차이에 대한 $\delta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 그래프에서는 모든 주행시간에 있어서 남자그룹이 여자그룹에 비해 높은 비율을 기록하고 있으나 그룹간의 유의차는 보이지 않았다. 반면에 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 파라미터는 여성의 시간에 따른 상대적 비율이 모든 주행시간 동안 우세하였고 15분, 20분, 25분, 55분 경과 시에 그룹간 유의차가 인정되었다. 또한 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 파라미터의 경우, 안정시간에 비해 남녀 그룹 모두 비율이 감소하기는 했으나 시간에 따른 변화 패턴은 여자그룹의 α 파의 감소율이 크다가 주행 40분 경부터 그 경향이 반대로 바뀐다. 즉, Driving Simulator 상의 후반부 주행 시에 남자그룹의 α 파의 감소율이 여자그룹보다 증대된다. 특히 유의할 만한 점은 모든 주행 시간대에서 남녀별 유의차가 나타남으로써 α 파의 비율에 대한 성차가 뚜렷이 나타났다는 것이다. 여자는 주행 초기에 Sickness가 많이 증가했으며 남자는 40분 이후부터 Sickness가 증대된 것으로 보인다. $\beta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 파라미터 그래프에서는 15분, 45분, 60분을 제외하고 여자그룹의 비율이 높았다. 즉, 여자그룹의 β 파의 비율이 더 우세하였으며 5분과 30분경에 남녀별 유의차가 인정되었다.

성별에 따른 주관적 Sickness의 평가는 통계적인 유의차는 나타나지 않았으나 여자가 남자에 비해 높은 것으로 나타났고 Sickness수준별 비교결과에서 θ 파의 비율이 Sick그룹에서 더 높게 나타났다는 것으로부터 여성그룹이 남성에게 비해 상대적으로 Sickness를 더 많이 느끼고 이러한 Sickness가 θ 파에 잘 반영되는 것으로 보인다. 실제로 Sick그룹을 구성하고 있는 구성원 7명 중 5명이 여성이었다.



<그림7> 성별 $\theta / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화



<그림8> 성별 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 의 변화

4. 결론

본 연구에서는 Simulator의 사용에 따른 Sickness의 발생이 생리신호에 어떠한 변화를 유발시키는지 알아보았다. 그 결과, EEG의 Fz 부위에서 특징적인 신호패턴을 보이는 생체신호 지표는 θ 파의 상대적 비율로 나타났다. 주관적 Simulator Sickness의 평가는 모든 항목에서 시간이 경과함에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타났는데 이는 본 실험의 생리적 측정 지표인 θ 파의 시간에 따른 감소와 유의미한 상관관계가 있다고 보여진다.

본 실험에서 17명의 전체 피험자를 대상으

로한 EEG반응 결과는 주행시간에 따른 특정 경향은 발견되지 않았으나 모든 시간대에서 δ 파, θ 파의 증가와 α 파의 감소가 나타났다. 특히, θ 파는 초기 5분에 증가한 수치가 시간이 지남에 따라 그 비율이 일정하게 감소하는 것이 보였다.

Sick그룹과 Non-Sick그룹에 대한 비교 결과는 수면 및 졸음에 관계되는 δ 와 θ 파의 상대적 비율이 Non-Sick그룹에 비해 Sick그룹이 컸으며 α 파의 감소율이 주행 55분과 60분을 제외하고 Sick그룹이 Non-Sickness그룹에 비하여 크게 나타났다. 성별에 따른 주관적 Sickness의 평가에 따르면 Simulator Sickness를 느끼는 정도가 여자가 남자에 비해 높은 것으로 나타났는데 이는 남녀 그룹별 EEG 측정결과에서 여성그룹의 θ 파가 많이 나왔던 것과 관계가 있다고 보여지며 Sickness수준별 비교결과에서도 마찬가지로 Simulator Sickness를 느끼는 정도가 더 했던 Sick그룹에서의 θ 파의 우세경향과 관련이 있을 것으로 생각된다.

남녀간 비교 시 $\alpha / (\delta + \theta + \alpha + \beta)$ 에서 여자의 α 파 감소율이 높게 나타나다가 주행 40분부터 그 경향이 반대로 바뀌는데 모든 주행 시간대에서 이 지표에 대한 남녀간 유의차가 인정되었으므로 이에 대한 고려가 있어야 할 것으로 보인다.

Motion이 첨가된 Dynamic Driving Simulator에서 Simulator Sickness 발생에 따른 EEG반응을 검토해 본 이번 연구는 차후 자율신경계의 반응평가 및 주관적 평가의 상호관련성을 검토하여 보다 종합적인 Simulator Sickness의 영향을 검토할 필요가 있으며, 이러한 결과들은 향후 Simulator를 이용한 각종 실험에 반영되어 평가되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1]유완석,손정현,김광석,이재식,운전자의 운전 수행과 관련된 지각적, 인지적 특성분석 및 그 특성이 운전 에 미치는 영향분석, 자동차공학회 논문집, 제 7권 제 6호, pp 222-230,1999
 [2] 고정훈, 손권, 최경현, 승용차의 가상프로토타이핑, 자동차공학회 논문집, 제 7권 제5호, pp 230-239, 1999
 [3]정순철, 민병찬, 김철중, Simulator Sickness에 대한 주관적 평가와 생리반응과의 상관관계에 관한 연구, 의공학회지 출판중, 2001