

동적 시뮬레이터에서 Simulator Sickness와 자율신경계 반응

전효정, 민병찬, 김유나, 전광진, 오혜영, 성은정, 정순철*, 김철중
한국표준과학연구원 인간정보연구그룹
*건국대학교 의과대학 의용생체공학부

Simulator Sickness and Autonomic Responses in Dynamic Simulator

H.J. Jeon, B.C. Min, Y.N. Kim, K.J. Jeon, H.Y. Oh,
E.J. Sung, S.C. Chung*, C.J. Kim

Ergonomics & Information Technology Group, KRISS

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

Abstract

본 연구는 시뮬레이터 실험에서 필수적으로 발생하는 Simulator Sickness(SS)를 평가하기 위하여 동적 시뮬레이터에서 일정한 속도(60km/h)로 1시간 주행했을 때 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)를 이용하여 주관적 Sickness를 평가하고 생리적 반응으로 심박 변동량(HRV)과 피부온도 및 피부저항을 측정하여 성별, Sickness 수준에 따라 비교 분석하였다. 분석 결과 동적 시뮬레이터에서 주행시 주관적인 Simulator Sickness는 안정에 비해 시간이 지남에 따라 45분까지 선형적으로 증가하였고 여자와 sick군이 남자와 nonsick군에 비해 더 높았으며 sickness 수준간에서는 유의성이 나타났지만 남녀간의 유의한 차이는 없었다. 생리적 반응은 시간에 따른 변화는 없었으나 안정에 비해 R-R 간격의 감소, (LF+MF)/total 및 (LF+MF)/HF의 증가로부터 교감 신경이 활성화되었으며 피부온도의 감소와 피부저항의 증가로부터 긴장도가 키집을 알 수 있었다. 주행 50분 이후는 HF/total가 감소하여 부교감 신경의 작용이 저하되는 것으로 나타났다. 성별, sickness수준에 따라서는 남녀간에는 부분적으로 유의한 차이가 있었고 평균 R-R 간격에서만 sick군이 nonsick군보다 유의하게 낮았다.

Keyword : Simulator Sickness, Subjective assessment, Heart rate variability, Autonomic responses

1. 서론

인간의 감성은 직관적이고 순간적으로 발생하며 개인적으로 시간과 환경에 따라 다양하게 변화하므로(이구형, 1998) 이러한 감성을 평가하기 위해 개인의 주관적인 평가와 생리적 반응을 통한 객관적인 평가가 이루어져 왔다.

실험실에서 자연스러운 감성 유발은 한계가 있어 동적 환경에서 인간의 감성을 측정하기 위해서 다양한 연구가 시도되고 있으며 실제 동적 환경에서 생리적 반응을 통하여 감성의 변화에 대한 여러 연구가 보고되고 있다(김철중 등, 1999; 민병찬 등, 1999). 그러나 이러한 실제 환경에서의 실험에는 많은 위험 요소가 따르며 자극제시에 한계가 있다.

최근 실제 동적 환경에서 제한점을 극복하기 위하여 현실감에 가까운 가상현실과 같은 시뮬레이터 시스템을 이용하여 감성을 연구하려는 노력이 진행 중이다(정순철 등, 2000 ; 김수진 등, 2000).

그러나, 국외에서는 Simulator Sickness로 일컬어지는 시뮬레이터의 인체에 대한 부작용(구토, 집중력 곤란, 메스꺼움, 눈의 피로 등)이 보고되고 있으며(Kennedy and Fowlkes, 1992) 가상현실 시스템이 대중화됨에 따라 시뮬레이터의 안정성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내에서도 이러한 가상현실 시스템이 특수한 목적을 대상으로 한 훈련, 오락 등으로 급속도로 보급되고 있고 시뮬레이터에 대한 인체의 부작용에 대한 연구는 일부 보고되고 있으나(김도희 등, 1998) 드문 실정이다. 이에 시뮬레이터를 이용한 동적 환경에서의 감성 측정 연구에 앞서 본 연구에서는 자동차 시뮬레이터를 이용한 동적 시뮬레이터에서 1시간동안 일정한 속도($60 \pm 10 \text{ km/h}$)로 주행하면서 주관적 평가와 생리적 반응을 관찰하여 시뮬레이터 환경이 인체에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피험자

피험자는 연령이 만 20세 이상이고 운전경력이 1년 이상인 건강한 성인 18명(남자 : 10명, 여자 : 8명)을 대상으로 하였다. 실험 전 신경계에 영향을 줄 수 있는 담배, 커피, 약물, 음주의 섭취를 금하였으며 실험을 시작하기 전 시뮬레이터에 익숙해지도록 연습한 후 실시하였다.

2.2 실험 장비 및 측정 장비

시뮬레이터는 국민대학교에서 제작한 모의 자동차 시뮬레이터를 이용하였다. Open GVS 4.2를 이용한 3D graphic engine과 NEC MT-1030 + LCD projector를 사용하여 80 inch rear projection screen 위에 30(H)×25(V) 의 FOV로 30 frame/sec로 투사하였고 motion은 3축의 motion 유압 시스템으로 구성되어 있다.

주행화면은 2차선 도로로 제시되었다(그림 1). 생리 신호를 측정하기 위하여 Biopac system과 AcqKnowledge 3.5 프로그램을 이용하였고 Sampling rate는 256 Hz로 설정하였다.



그림 1. 시뮬레이터 이미지

2.3 주관적 평가와 생리신호 측정

Simulator Sickness에 대한 주관적 평가는 Kennedy & Fowlkes(1992)의 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ) 16문항을 참조하

여 4점 척도로 조사하였다.

자율신경계의 생리적 반응은 심전도 (Electrocardiogram: ECG, 1채널) 피부온도 (Skin temperature, 1채널, 오른손 약지), 피부전도도(Galvanic skin resistance, 1채널, 오른손 검지와 중지)를 측정하였다.

2.4 실험 과정

자동차 시뮬레이터에서 1시간 동안 60±10km/h로 주행하는 동안 피험자의 Simulator Sickness에 대한 주관적 평가와 생리 신호를 측정하였다. 피험자의 주관적 평가는 실험 전과 후, 주행 중 5분마다 구두로 조사하였고 생리 신호는 실험 전과 주행하는 동안 연속적으로 측정하였다. 실험 과정은 그림 2와 같다.

주행할 때는 일정한 차선으로 주행하게 하였으며 편안한 마음으로 실험에 집중하도록 하였다.

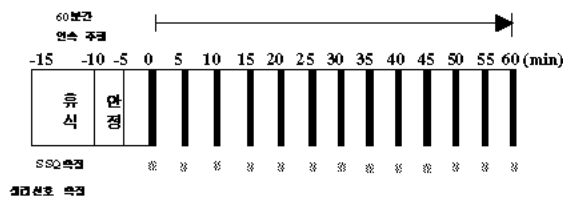


그림 2. 실험 Protocol

2.5 분석 방법

주관적 평가는 SSQ의 3가지 증상군(메스꺼움, 안구운동불편, 방향감각상실)과 3가지 증상군을 합한 Total Simulator Sickness를 구하였다. SSQ 문항과 계산식은 표 1과 같다.

표 1. Simulator Sickness Questionnaire 계산표

증상	각 증상에 대한 가중		
	N (메스꺼움)	O (안구운동불편)	D (방향감각상실)
일반적인 불쾌	○	○	
피로		○	
두통		○	
눈의 피로		○	
눈의 초점을 맞추기가 어려움		○	○
침 분비의 증가	○		
발한	○		
메스꺼움	○		○
집중하기 곤란함	○	○	
머리가 짙은 느낌			○
뿌연 시야		○	○
눈을 떴을때의 현기증			○
눈을 감았을때의 현기증			○
병병도는느낌의 이지러움			○
위에 대한 부담감	○		
트림	○		
합계	<1>	<2>	<3>
점수			
N <1>×9.54			
O=<2>×7.58			
D=<3>×13.92			
TS (<1>+<2>+<3>)×3.74			민 칸의 가중치는 0

생리 신호로 심박 변동율(Heart rate variability, HRV)은 ECG에서 검출된 R 포인트로부터 평균 R-R 간격과 교감신경과 부교감신경의 작용을 알아보기 위해 전력 스펙트럼 분석으로 LF(Low Frequency : 0.04~0.08 Hz), MF(Middle Frequency : 0.08~0.15 Hz), HF(High Frequency : 0.15~0.4 Hz)로 주파수 대역을 정하고 HF/Total, (LF+MF)/Total, (LF+MF)/HF의 파라미터를 구하였다. 피부온도와 피부전도도는 신호 진폭의 평균을 구하였으며 생리 신호의 모든 값은 주행 5분 간격으로 자료를 수집하였다.

주관적 평가의 항목과 각 생리신호 측정값은

평균과 표준편차를 구하였고 생리신호는 안정 상태의 값을 기준으로 평균화시켜 성별 및 Sickness 수준에 따라 비교 분석하였다. Sickness 수준은 실험 후 Total Simulator Sickness 측정치의 평균값 60.88을 기준으로 평균값 이상을 sick군, 평균값 미만을 nonsick군으로 분류하여 분석하였다.

모든 자료의 통계적 분석은 SPSS 프로그램을 이용하였고 T-test로 유의성을 검증하였다.

3. 결과

3.1 Simulator Sickness에 대한 주관적 평가

전체 피험자들의 주관적인 Simulator Sickness의 결과로서 그림 3과 같이 Total Sickness는 안정에 비해 주행 45분까지 지속적으로 증가하였으며 10분 이후부터 유의하게 증가하였다(** p<0.01, *** p<0.001). 메스꺼움 증상은 5분 이후, 안구운동불편과 방향감각상실은 10분 이후부터 유의하게 Sickness가 증가하였다. 성별에 따라서는 여자가 남자보다 주관적인 Simulator Sickness가 높았으나 남자가 여자보다 Simulator Sickness가 유의하게 더 빠른 시간대에 나타났다(남자 : 10분 후, 여자 : 15분 후). Sickness 수준에 따라서는 sick군이 nonsick군보다 주관적 Sickness가 유의하게 더 높았고 빨리 나타났지만 Total Simulator Sickness에서는 nonsick군이 sick군에 비해 더 빨리 불편함을 느끼는 것으로 나타났다. 시간대별로 nonsick군과 sick군을 비교하면 sick군이 nonsick군보다 5분부터 유의하게 높았다.

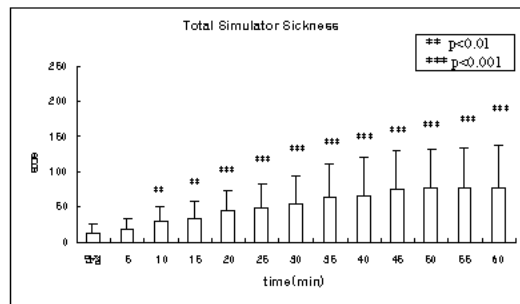


그림 3. 주행 시간에 따른 주관적인 Total Simulator Sickness의 변화

3.2 심박 변동률(HRV)

피험자들의 평균 R-R 간격은 그림 4와 같이 안정에 비해 시뮬레이터에서 주행시 감소하였다(** p<0.01, *** p<0.001). 성별, Sickness 수준별로 비교하였을 때 여자가 남자보다, sick군이 nonsick군보다 더 감소하였고 시간대별로 비교하였을 때 여자가 남자에 비해 20분, 25분, 30분, 45분, 50분, 55분, 60분에서 유의하게 높았으며 sick군은 nonsick군에 비해 30분, 35분, 45분, 50분에서 유의하게 높았다. 남녀, nonsick군과 sick군 모두 안정에 비해 5분 이후부터 평균 R-R 간격이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

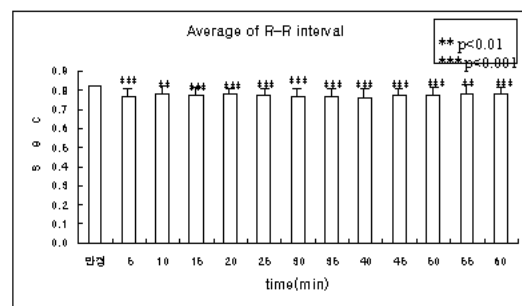


그림 4. 주행 시간에 따른 평균 R-R 간격의 변화

HRV에서 부교감 신경의 활동을 나타내는 HF/total은 그림 5와 같이 안정에 비해 주행 50

분, 55분에서 유의하게 감소하였다(* $p < 0.05$).

성별, Sickness 수준에 따라서는 시간이 지남에 따라 안정에 비해 여자가 남자보다 감소하여 여자가 남자보다 주행 40분에서 유의하게 감소하였고 Sickness 수준간에는 차이가 없었다.

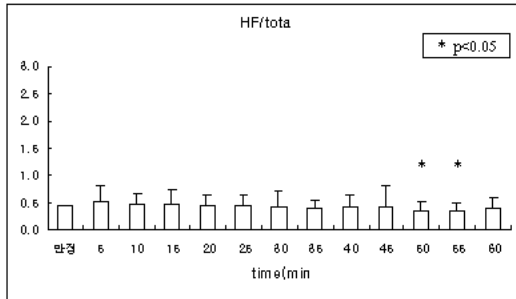


그림 5. 주행 시간에 따른 HF/total의 변화

교감신경의 활동을 나타내는 (LF+MF)/total은 그림 6과 같이 안정에 비해 시간이 지남에 따라 증가하였고 55분에서 유의하게 증가하였다(* $p < 0.05$).

또한 여자, sick군의 (LF+MF)/total이 남자, nonsick군에 비하여 증가하였으나 유의차는 인정되지 않았다.

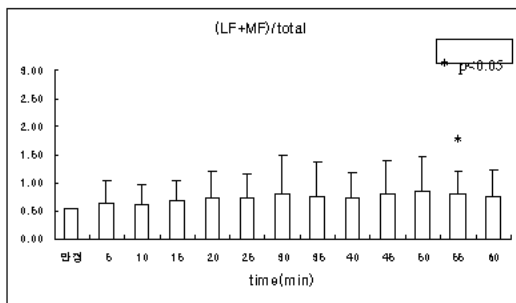


그림 6. 주행 시간에 따른 (LF+MF)/total의 변화

그림 7과 같이 교감신경의 활성도를 나타내는 (LF+MF)/HF는 안정에 비해 주행시 증가하였고 55분에서 유의차가 인정되었다(* $p < 0.05$).

성별, sickness 수준별로 비교했을 때 안정에 비해 여자, sick군이 남자, sick군보다 더 높았으나 유의차는 인정되지 않았다.

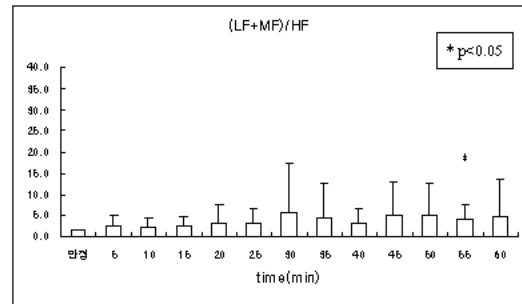


그림 7. 주행 시간에 따른 (LF+MF)/HF의 변화

3.3 피부온도 및 피부저항

피부온도는 그림 8과 같이 안정에 비해 주행시 5분 이후부터 유의하게 감소하였다(** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). 성별, sickness 수준에 따라 비교하였을 때 여자와 nonsick군이 남자와 sick군에 비해 낮았으며 여자는 남자보다 5분, 10분에서 유의하게 낮았다. 안정에 비해 남녀, nonsick군/sick군 모두 5분 이후부터 유의한 감소를 나타내었다.

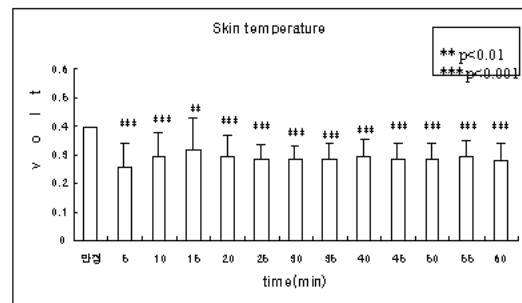


그림 8. 주행 시간에 따른 피부온도의 변화

그림 9에서와 같이 피부저항은 안정에 비해 주행 5분 이후부터 유의하게 높았다(** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). 성별에 따라서는 여자가 남자에 비해 높았으며 5분에서 유의하게 높았다.

sickness 수준에 따라서는 sick군보다 nonsick군이 더 높았으나, 군간의 유의차는 인정되지 않았다.

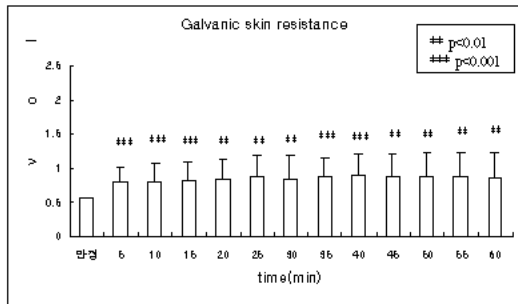


그림 9. 주행 시간에 따른 피부저항의 변화

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 동적 시뮬레이터에서 1시간동안 주행시 시뮬레이터에 대한 주관적 Sickness와 HRV, 피부온도 및 피부저항 등의 생리적 반응으로 자율신경계 반응을 알아보았다.

동적 시뮬레이터에서 주행시 주관적 평가와 HRV, 피부온도 및 피부저항의 생리신호를 분석한 결과 피험자들의 시뮬레이터에 대한 주관적인 sickness는 시간이 지남에 따라 증가하였고 생리적 반응은 시간에 따른 변화는 없었으나 안정에 비해서 뚜렷한 변화를 보였다.

시간대별로 남/녀, nonsick군/sick군을 비교하였을 때 주관적 Sickness는 남녀간에는 유의한 차이는 보이지 않았고 sick군이 nonsick군보다 유의하게 높았다. 자율신경계 반응은 남녀간에는 부분적으로 유의한 차이가 있었으며 평균 R-R 간격에서만 sick군이 nonsick군보다 부분적으로 유의하게 낮았다. 즉, 자율신경계 반응은 성별의 차이가 있었으며 주관적 Sickness는 sickness 수준에 따라 차이가 있었다.

생리신호는 주행시 R-R 간격의 감소, (LF+MF)/total 및 (LF+MF)/HF의 증가로부터 교감 신경이 활성화되었으며 피부온도의 감소와 피부저항의 증가로부터 긴장도가 커짐을 알

수 있었다. 또한 주행 50분 이후는 HF/total가 감소하여 부교감 신경 작용이 저하되는 것으로 나타났다.

생리적 반응은 Simulator Sickness와 관련된 연구(김수진 등, 2000)와 본 연구 결과를 비교하면 가상 시뮬레이터에서 주관적 Sickness 및 생리적 반응과 비슷한 경향을 보였으나 측정값은 더 낮게 나타나 motion이 부가되어 Sickness가 감소한 것으로 사료된다. 또한, 실제 동적 환경(도로 주행)에서의 감성 평가 연구(민병찬 등, 1999)와 비교하면 정속 주행시(60km/h)의 심박 변동률과 비슷하여 실제 주행시의 자율신경계의 반응과 유사한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 주관적인 Simulator Sickness의 변화를 반영하는 자율신경 반응이 나타나지 않아 EEG를 이용한 중추신경계의 반응을 분석할 예정이며 여자가 남자보다 Simulator Sickness를 더 많이 느끼고 sick군에서도 여자의 비가 더 높아 여자의 Simulator Sickness에 대한 고려가 필요하며 Sickness와 수반되어 나타나는 피로감, 졸음의 영향에 대한 검토도 필요할 것이다. 또한 가능한 Simulator Sickness의 자각이 적은 현실감 있는 Simulator의 개발 및 개선이 요구되며 향후 실제 동적 환경(도로 주행)에서 주행시 생리신호의 경향과 비교할 필요성이 요구된다.

참고문헌

- [1] 이구형, "감성과 감정의 이해를 통한 감성의 체계적 측정 평가", 한국감성과학회지, 1(1), 1998, 113-122
- [2] 김철중, 민병찬, 정순철, 김상균, 오지영, 민병운, 김유나, "자동차 속도 변화에 따른 자율신경계의 반응 연구" 공업경영학회지, 22(52),

1999, 203-210

[3] 민병찬, 정순철, 김상균, 민병운, 오지영, 상진경, 신성상, 김유나, 김철중, 박세진, "운전 및 도로 상황에 따른 자율신경계의 반응", 한국감성과학회지, 2(1), 1999, 61-68

[4] 정순철, 민병찬, 김수진, 민병운, 남경돈, 신성상, 김유나, 김철중, 박세진, "화상 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 생리 반응", 국제인간공학 심포지움 및 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 2000, 23-26

[5] 김수진, 민병찬, 정순철, 김유나, 민병운, 남경돈, 한성수, 김철중, 박세진, "화상 시뮬레이터에서 Simulator Sickness에 관한 연구" 한국감성과학회 춘계학술대회 및 국제 감성공학 심포지움 논문집, 2000, 224-229

[6] Kennedy, R. S. and Fowlkes, J.E., "Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic : Implications for research." International J. of Aviation Psychology, 2(1), 1992, 23-38

[7] 김도희, 박민용, 이근희 "Driving Simulator에서 Simulator Sickness의 정량적 측정에 관한 연구", 공업경영학회지, 21(48), 1998, 165-175

[8] 김유나, 민병찬, 정순철, 김수진, 김철중, 박세진, "동적 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 감성 평가", 대한인간공학회 추계 학술대회 논문집, 2000