

Simulator Sickness의 개인적인 민감도에 따른 심리생리학적 반응의 차이

1)정순철 · 2)민병찬 · 1)정은지 · 1)이봉수 · 1)이정환 · 2)김철중

1)건국대학교 의과대학 의학공학부
2)한국표준과학연구원 인간·정보그룹

Differences of Psychophysiological Responses due to Individual Sensitivity of Simulator Sickness

¹S.C. Chung · ²B.C. Min · ¹E.J. Chung · ¹B. Lee · ¹J. H. Yi · ²C.J. Kim

1) Dept. of Biomedical Engineering College of Medicine, Konkuk University
2) Ergonomics and Information Lab, Korea Research Institute of Standards and Science

Psychological and physiological effects of the simulator sickness could be important bias factors for the sensibility evaluation. The purpose of the present study was to clear the differences of psychophysiological responses due to individual sensitivity of simulator sickness. The present experiment tried to investigate the simulator sickness objectively by observing the change of the simulator sickness for the different level of sickness groups (sick and non_sick group). The subjective evaluations using Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) and physiological responses were measured every five minutes when they were driving as 60km/h in the driving graphic simulator. Response level of the subjective evaluation for all subjects on the simulator sickness was linearly increased with time for every item, and the response level of sick group was bigger than that of non_sick group. When the analysis on central nervous system was done separately on the sick and the non_sick group, there was significant difference in the parameter θ /total at Fz and Cz. Although the analysis on autonomic nervous system for all subjects showed the increased activation of sympathetic nervous system, there was no significant difference between the sick and non_sick group. In summary, it is necessary to select the subjects who feel less simulator sickness in order to be accurate sensibility evaluation. The parameters to distinguish between the sick and non_sick group were the change on θ /total and subjective evaluation using SSQ.

Keywords: Simulator Sickness, Sensibility Evaluation, Psychophysiological Responses

1. 서론

최근 과학 기술의 발달로 가상 현실과 같은 시뮬레이터 시스템이 교육, 의학, 군사, 영화, 오락분야 등 산업의 여러 부분에서 다양한 목적으로 이용되고 있다. 특

히 근래에는 이러한 시뮬레이터를 인간의 감성을 평가하기 위한 감성 자극 제시 장치로도 많이 이용하고 있다 (정순철 등, 2000; 정순철 등, 2001a). 즉, 실제 동적 환경에서의 감성 자극 제시와 평가 실험들은 자극제시를 엄격히 할 수 없는 제한점이 있고, 돌발 사태와 같은

위험요소도 함께 내포하고 있다. 또한 뇌파나 맥파, 근전도 등의 신호들은 동적 환경의 심각한 노이즈의 영향을 받기 때문에 분석하기가 어렵다는 단점도 포함한다. 이러한 한계점들을 해결하면서 동시에 동적 감성 자극에 따른 인간의 감성 변화를 연구하기 위해서 시뮬레이터를 구축하여 이곳에서 인간의 감성을 연구하고자 하는 시도를 하고 있는 것이다.

그러나 시뮬레이터를 사용하게 됨으로써 인체에 어떤 부작용을 일으킬 수 있는 단점을 가지고 있는데 이러한 부작용을 Simulator Sickness, Motion Sickness 혹은 Cybersickness라고도 한다 (Kennedy and Fowlkes, 1992; Richard, et al., 1999; Unga, 1983; 김도희 등, 1998). 즉, 시뮬레이터와 같은 가상 현실 시스템이 개발되어 현실감이 요구되는 분야에서 이용되고 있으나 시뮬레이터를 사용하게 됨으로써 구토, 메스꺼움, 창백, 식은 땀, 나른함, 혼란, 집중력 곤란, 머리가 팽 찬 느낌, 뿌연 시야, 눈의 피로와 같은 Simulator Sickness로 일컬어지는 부작용이 보고되고 있다. 또한 20분의 비행 시뮬레이터를 사용한 후 피험자의 60%가 일반적인 불편을 경험하였다고 보고하였고, 20분의 가상현실시스템을 사용한 후 피험자의 61%가 현기증, 두통, 눈의 피로, 위의 불편, 격심한 메스꺼움을 느꼈다고 하였다 (Regan, 1995; So, 1994). 특히 Kennedy 와 Fowlkes (1992) 는 Simulator Sickness 현상이 여러 가지 징후와 증세를 나타내기 때문에 "Polysymptomatic (다증상성)"으로 묘사하였다. Simulator Sickness의 발생요인은 시뮬레이터 요인, 시뮬레이터에서의 작업수행 관련요인, 개인적 요인과 같이 크게 세 가지로 구분 될 수 있다. 시뮬레이터 요인으로는 색깔, 대비, Field of View, Flicker, 초당 Frame 수, 화면 지연 등의 시각적 부분과, 변위, 가속도, 각 가속도 등의 motion platform의 진동 특성, 그리고 음향 특성 등으로 구분되며 마지막으로 이러한 각 부분의 현실감 있는 동기화가 중요 요인으로 작용한다 (Jones, 1993; Levine and Shefner, 1991; Pausch, et al., 1992). 시뮬레이터에서의 작업수행 관련요인으로는 작업 수행 방법, 작업의 통제 정도, 작업 지속 시간, 작업의 자연스러운 연결성 등이 있다 (Fowlkes, et al., 1987; McCauly and Sharkey, 1992). 개인적 요인으로는 나이, 성별, 작업의 집중력, 시뮬레이터의 경험 정도 (적응도), 질병이나 개인적 특성, 심지어는 인종에 따라서도 차이가 난다는 사실이 밝혀졌다 (Biocca, 1992; Conway, 1992; Reason and Brand, 1975; Regan, 1993; Stern, et al., 1993). 이 중에서 시뮬레이터 요인과 시뮬레이터에서의 작업수행 관련요인은 많은 연구와 실험을 통해서 Simulator Sickness를 경감 할 수 있는 방법들이 개발되어 왔고 앞으로의 과학의 발전은 Simulator Sickness를 극소화 할 수 있는 최적의 가상 현실 시스템을 가능하게 할 것이다. 그

러나 개인적 요인으로 발생하는 Simulator Sickness를 경감하는 방법의 개발은 쉽지 않을 것으로 사료된다.

Simulator Sickness의 다증상적 특성 때문에 한가지의 신호나 증상을 측정하는 것으로 Simulator Sickness를 측정하는 것은 힘들고, 가장 보편적인 Simulator Sickness의 측정 수단은 설문이나 증상 checklist이다. 그 중에서 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)는 Simulator Sickness를 주관적인 평가 방법으로 정량화 하는데 현재 널리 사용되고 있다 (Kennedy, et al., 1993).

근래에는 Simulator Sickness로 유발되는 생리적 반응으로 심박율이 증가하고 (Sue, et al., 1999), 뇌파에서 알파파 감소와 델타파의 증가, 심박율, 피부전도도의 증가와 피부온도의 감소가 보고되기도 하였다 (Money, 1970; Valentino, et al., 1993; 김수진 등, 2000a; 김수진 등, 2000b; 김영운 등, 2000). 또한 주관적인 Simulator Sickness와 객관적인 중추 및 자율 신경계의 생리신호 사이의 시간의 변화에 따른 정량적 상관 관계에 대한 연구가 보고되기도 하였다 (정순철 등, 2001b 출판중).

시뮬레이터를 이용함에 따라 Simulator Sickness가 발생하게 되고 이러한 부정적 왜곡 요소는 피험자에게 심리적, 생리적으로 큰 영향을 끼칠 수 있을 것이다. 그러므로 이러한 Simulator Sickness는 특히 시뮬레이터를 이용한 감성 공학 연구에 큰 장애 요소로 작용할 것이다. 즉, Simulator Sickness로 유발되는 심리적 불쾌감은 주관적 감성 판단의 왜곡 요소로서, 또한 Simulator Sickness로 유발되는 중추 및 자율신경계 변화는 객관적 감성 판단의 왜곡 요소로서 영향을 끼칠 수 있다. 민병찬 등 (2001) 은 Simulator Sickness에 의해 유발되는 생리 변화인 α /total와 β /total의 뇌파 변화와 교감 신경계의 활성화는 인간의 감성, 즉, 쾌도 및 긴장도를 판단하는데 왜곡 요소로 작용할 수 있다는 사실을 보고하였다. 또한 인간의 감성은 외부로부터의 감각정보에 대하여 직관적이고 순간적으로 발생되며 개인적으로 시간과 환경 변화에 따라 다양하게 변화하는 개인적 특성 때문에 정확한 감성을 평가하는데 큰 어려움을 겪고 있다. 위에서도 언급하였지만 개인적 특성이 또한 Simulator Sickness의 발생과 밀접한 관련이 있다. 그러므로 이러한 Simulator Sickness와 감성의 개인적 특성의 혼합으로 나타나는 심리 생리적 반응에서 감성의 유발 결과만을 추출하는 것은 어려울 것으로 판단된다. 그러나 Simulator Sickness의 개인적 민감도가 낮은 피험자를 추출할 수 있다면 시뮬레이터에서의 감성 평가 연구 결과의 신뢰성이 높아질 수 있다. 즉, 감성 공학 연구는 모든 특성의 인간을 대상으로 하기 때문에 감성 평가에 미치는 Simulator Sickness의 왜곡 요소를 경감시키는 현실적인 방법중의 하나가 Simulator Sickness를 적게 경험하는 피험자를 선별하는 것 일수도 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차 화상 시뮬레이터에서 피험자에게 일정한 속도(60km/h)로 60분간 주행하게 하여 Simulator Sickness를 유발시키고 Simulator Sickness를 크게 느끼는 그룹 (Sick Group)과 적게 느끼는 그룹 (Non_Sick Group)으로 구분하여 5분간의 시간 간격으로 SSQ를 이용한 주관적 평가와 생리신호의 변화를 시간의 변화에 따라 각각 살펴봄으로써, 두 그룹 사이의 심리 생리적 차이에 대해 연구하고자 하였다. 또한 측정된 여러 생리 신호중 개인적인 Simulator Sickness 민감도를 정량적으로 변별할 수 있는 생리 지표를 찾고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치와 실험 과정

화상 시뮬레이터는 Open GVS 4.2를 이용한 3D graphic을 사용하여 80 inch rear projection screen 위에 30° (H)×25° (V)의 FOV를 가지는 영상을 초당 프레임 수 30 frame/sec로 투사하였다. 본 실험은 화상 시뮬레이터에서 자동차 주행을 위해 아주 평이한 왕복 4차선 타원형 트랙을 일정한 속도로 반복해서 주행하게 하였다. 그러므로 핸들, 액셀 또는 브레이크의 사용에 따른 피험자의 움직임을 최소화 시켜 움직임에 따른 간섭요소를 최소화 하고자 하였다.

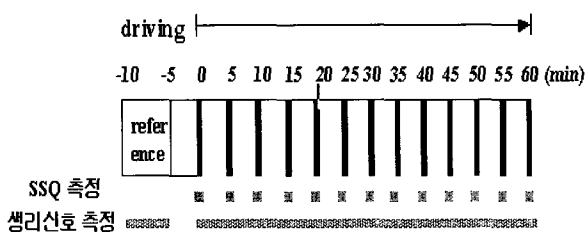
각 피험자들에게 실험 전 시뮬레이터 적응을 위한 10분 정도의 연습시간이 주어졌고, 연습 후에는 30분 이상의 충분한 휴식과 안정을 취하도록 하였다.

실험 전 5분간 안정의 생리신호 (reference signal)를 측정하였고, 실험 전 SSQ를 측정하였다. 피험자는 자동차 화상 시뮬레이터에 구축된 왕복 4차선 타원형 트랙을 60분간 60km/h(±10km/h)의 속도로 주행하면서 5분마다 16문항의 SSQ에 대해 답변하게 하였고, 동시에 60분간 연속적으로 생리신호를 측정하였다 (그림 1 참조). 이때 SSQ의 측정은 실험자가 5분 간격으로 구두로써 질문을 하였고, 피험자 역시 구두로써 답변을 하였다. SSQ 측

정 시간은 30~40초이고, 피험자에게 자신의 상태를 정확하게 판단하여 빨리 응답하도록 주의를 주었다. 실험이 끝난 후 다시 SSQ를 측정하였다. 본 실험의 자세한 실험 과정은 그림1에 나타내었다. 실험 중에는 실험 챔버 내부의 온도(26℃)와 습도(44~50%)를 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 이와 같이, 피험자에게 쾌적한 상태를 유지하도록 하여 다른 간섭요소에 의해 유발되는 생리 변화를 최대한 억제하도록 하였다.

2.2 주관적 Simulator Sickness 평가와 생리신호 측정 및 분석

피험자의 주관적 평가는 Simulator Sickness를 정량화 하는데 현재 널리 사용되는 Kennedy 등 (1993)의 SSQ를 참조하였다. SSQ는 총 16가지 문항이며 각 문항은 4점 척도(0점-아무렇지 않다, 1점-약간, 2점-보통, 3점-심하다)로 측정하며 메스꺼움 (Nausea), 안구운동불(Oculomotor), 방향감각상실(Disorientation)의 3가지 증상군과 이 3가지 항목을 종합한 Total Simulator Sickness로 구성되어 있다. SSQ의 각 증상군의 점수는 각 증상별로 0~3까지의 숫자로 매겨진 값에 각각의 가중치를 곱하여 그 합계를 구하고, 그 합계에 특정 계수를 곱하였다. 또한 종합 점수는 그 합계들을 모두 더한 후에 특정 계수 값을 곱하여 구하도록 하였다. 통계 분석은 SPSS 9.0V를 사용하여 t-test로 통계적 유의차를 계산하였다. 생리신호는 중추신경계반응을 알아보기 위해 뇌파전위(Electroencephalogram, EEG)를 측정하였고 자율신경계는 심전(Electrocardiogram, ECG), 피부온도(Skintemperature, SKT), 피부전도도(Galvanic skin response, GSR)를 측정하였다. 측정 장비로는 Biopac MP100 series를 사용하였고, 분석 소프트웨어는 AcqKnowledge 3.5.2를 사용하였다. 그리고 모든 생리 신호의 측정 시 샘플링 주파수는 256Hz로 설정하였다. EEG는 국제 10-20 electrode system법에 따라 전두엽(Fz), 두정엽(Cz) 부위에 도출 전극을 붙이고, 기준 전극으로는 좌측 귓볼로 설정하였다. EEG 신호의 데이터 처리는 A/D 변환 후 30Hz의 Cutoff frequency를 가지는 디지털 필터를 이용하여 low pass filtering을 하였다. FFT변환에 의해 주파수 분석을 수행하였으며, 각 측정 부위 Fz, Cz에 있어 α /total, β /total, δ /total, θ /total를 각각 계산하였다. 여기서 α 는 8~13Hz, β 는 13~30Hz, δ 는 1~4Hz, θ 는 4~8Hz, total은 1~30Hz으로 각 구간을 설정하였다. 자율신경계 반응은 ECG(1 channel, lead II), Skin Temperature(1 channel, 왼손 약지), GSR(1 channel, 왼손 검지와 중지)의 생리신호를 측정하였다. ECG에서 심장박동변화율(Heart rate variability)은 R 포인트를 1차 미분에 의한zero-crossing 방법을 사용하여 검출하였다. 검출된 R 포인트로부터 평균 R-R



<그림1> 실험 protocol

<표 1> 전체 피험자의 시간의 변화에 따른 각 항목별 Simulator Sickness의 변화 (평균 ± 표준편차)
(안정에 대한 통계적 유의차 *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001)

시간(min)	0 (reference)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
메스꺼움 (Nausea)	2.2±5.4	6.2±11.7	9.5±15.1 *	14.6±21.1**	20.2±30.0**	29.2±34.1**	33.1±37.0**	42.1±38.9***	45.5±37.5***	51.6±37.9***	54.4±36.9***	62.9±41.5***	71.8±42.7***
안구운동불편 (Oculomotor)	5.8±7.4	9.4±13.0	15.2±18.6	23.2±21.7**	30.8±28.4**	41.0±31.4**	47.7±32.8**	57.5±33.8***	60.1±38.1**	71.8±35.6***	75.8±36.1***	81.2±36.7***	85.6±34.9***
방향감각상실 (Disorientation)	5.7±8.6	16.4±25.7	20.5±30.0 *	31.1±37.7**	38.5±53.8**	46.7±60.5**	54.9±63.9**	67.1±70.0**	67.1±73.7**	79.4±70.8***	81.1±75.3***	91.7±80.4***	97.4±81.0***
Total Simulator Sickness	5.3±6.6	11.4±16.5	16.7±22.1**	25.5±27.6**	33.4±39.3**	44.2±44.0**	51.3±46.9***	62.9±49.8***	66.7±50.8***	77.0±49.4***	80.5±50.2***	89.3±53.9***	96.6±53.2***

간격을 계산하였고 Skin Temperature와 GSR은 신호 진폭의 평균을 계산하여 비교 분석하였다. 모든 생리 신호는 60분간 연속적으로 측정되었으며, 주관적 SSQ와 비교하기 위해 생리 신호의 분석은 5분 간격으로 12 구간으로 구분하였고 각각 5분 동안의 평균값을 하나의 값으로 취하였다.

Sickness 점수의 평균을 기준으로 하여 평균 이상이면 Sick Group, 평균이하이면 Non_Sick Group으로 분류하여 두 Group의 차이를 살펴보았다.

2.3 피험자(Sick와Non_Sick Group의 구분)

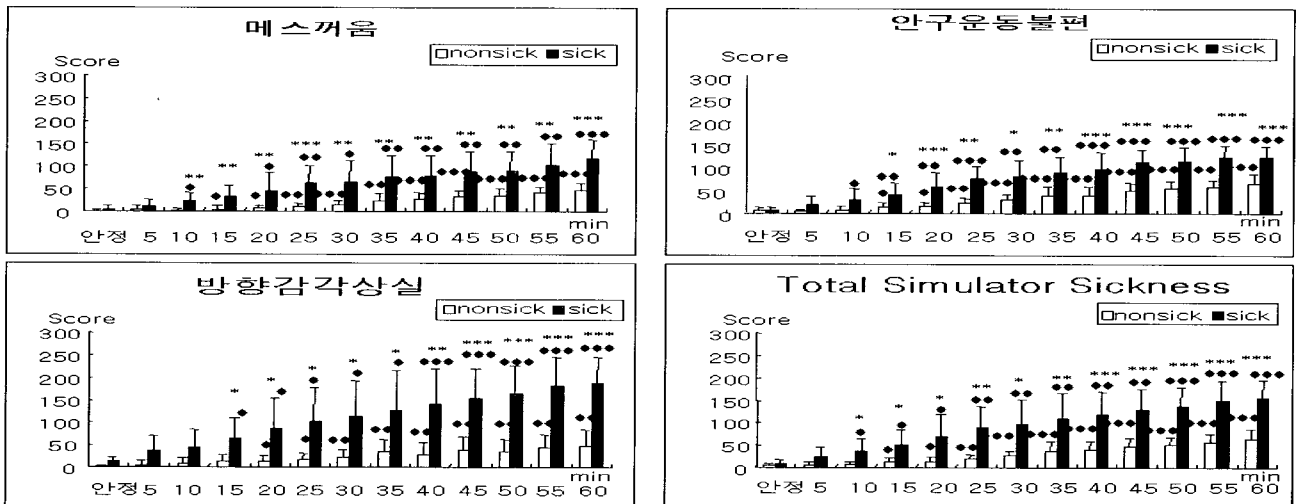
전체 피험자는 신체 건강한 20-28세의 성인 20명 (남자 10명, 여자 10명)을 대상으로 하였으며 평균연령은 23.4±1.8 세이었다. 모든 피험자에게는 실험 전 중추 신경계 및 자율신경계에 영향을 줄 수 있는 담배, 카페인, 약물, 음주의 섭취를 금하였다.

전체 피험자를 실험 마지막 60분의 Total Simulator

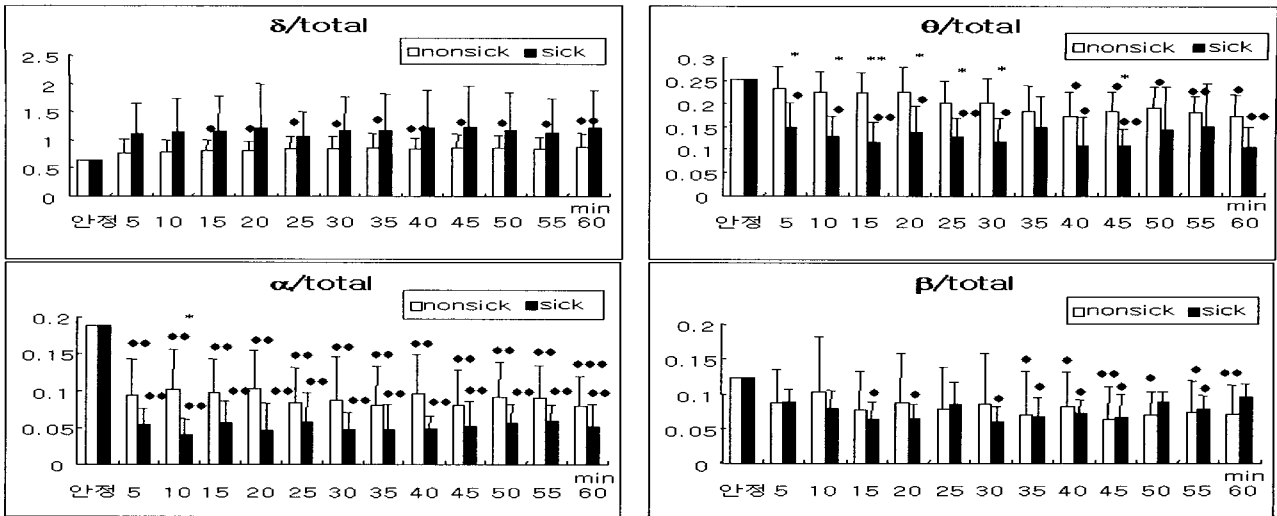
3. 실험 결과

3.1 Simulator Sickness Question naire (SSQ) 결과

표 1에서와 같이 20명 전체 피험자들의 메스꺼움, 안구운동불편, 방향감각상실 항목을 살펴보면, 모든 항목에서 60분 동안 계속 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 이들 항목에서 실험 전(안정)과 시간대별 차이를 비교하였을 때 메스꺼움, 방향감각상실은 실험 전에 비해 10분 이후부터, 안구운동불편은 실험 전에 비해 15분



<그림 2> 시간의 변화에 따른 각 항목별 Non_Sick 및 Sick Group의 Simulator Sickness 변화
각 Group의 안정에 대한 통계적 유의차 (◆p<0.05, ◆◆p<0.01, ◆◆◆p<0.001)
두 Group 사이의 통계적 유의차 (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001)



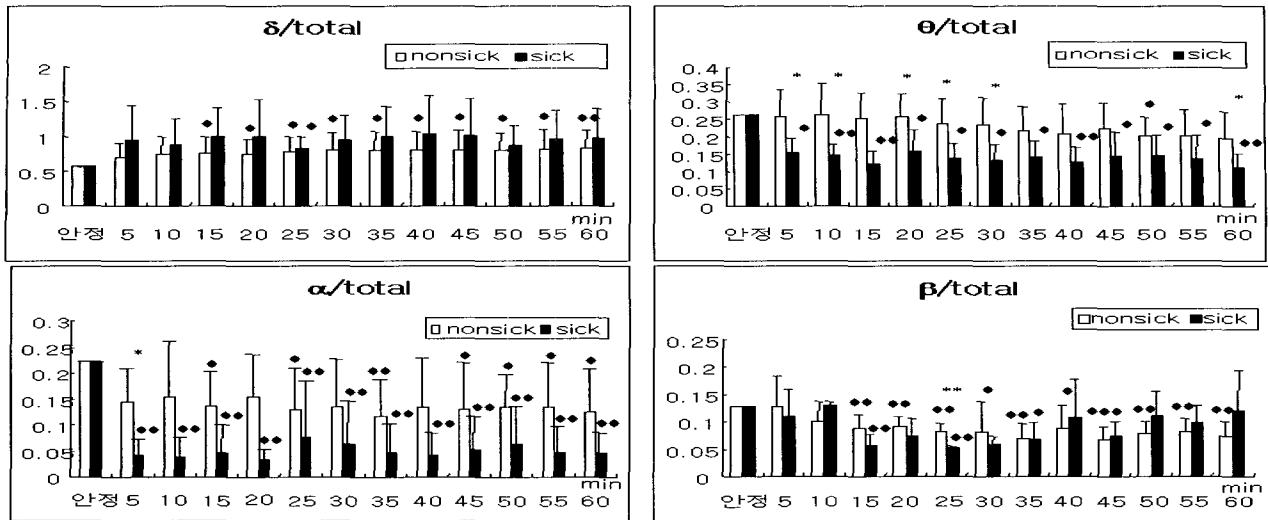
<그림 3> Fz 부위에서 시간에 따른 $\delta/total$, $\theta/total$, $\alpha/total$, $\beta/total$ 의 변화
 각 Group의 안정에 대한 통계적 유의차 (◆ $p<0.05$, ◆◆ $p<0.01$, ◆◆◆ $p<0.001$)
 두 Group 사이의 통계적 유의차 (* $p<0.05$, ** $p<0.01$)

이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 이 세 가지 항목을 합한 Total Simulator Sickness도 시간에 따라 계속 선형적으로 증가하는 경향을 보였고, 실험 전에 비해 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 전체 피험자를 실험 마지막 60분의 Total Simulator Sickness 점수의 평균을 기준으로 했을 때 평균 이상의 Sick Group은 7명으로, 평균이하의 Non_Sick Group은 13명으로 나타났다. 그림 2에서와 같이 두 Group에 대한 각 항목별 주관적 SSQ의 결과는 거의 2배 이상의 차이가 발생하였다. 메스꺼움은 Non_Sick Group이 안정에 비해 15분 이후부터, Sick Group은 안정에 비해 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났고, 두 Group 사이에는 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 안구운동불편은 Non_Sick Group이 안정에 비해 15분 이후부터, Sick Group은 안정에 비해 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났고, 두 Group 사이에는 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 방향 감각 상실은 Non_Sick Group이 안정에 비해 20분 이후부터, Sick Group은 안정에 비해 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났고, 두 Group 사이에는 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 이 3가지 항목을 종합한 Total Simulator Sickness는 Non_Sick Group이 안정에 비해 15분 이후부터, Sick Group은 안정에 비해 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났고, 두 Group 사이에는 10분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다.

결론적으로 Non_Sick Group은 시뮬레이터에서 주행 후 약 15-20분 이후부터 Simulator Sickness를 호소하였고, Sick Group은 약 10-15분 이후부터 Simulator Sickness를 호소하였다. 두 Group 사이에는 10-15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다.

3.2 생리 반응

그림 3과 4에서처럼 Fz과 Cz 부위에서의 뇌파 변화는 거의 동일하였고 안정에 대한 변화량은 Non_Sick에 비해 Sick Group이 모든 파라미터에서 훨씬 컸다 (통계적 유의차는 그림 참조). Fz과 Cz 부위 모두 $\delta/total$ 의 변화는 안정에 비해 자동차 Graphic Simulator 주행 중에 증가하였고, Non_Sick Group (13명 데이터의 평균)이 안정에 비해 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났고, Sick Group (7명 데이터의 평균)은 변화량은 Non_Sick Group에 비해 컸지만 안정에 비해 통계적 유의차가 나타나지 않았다. 이것은 Sick Group의 피험자수의 부족으로 표준편차가 더 크게 발생했기 때문이다. 그리고 두 Group 사이의 통계적 유의차가 나타나지 않았다. $\theta/total$ 의 변화는 안정에 비해 자동차 Graphic Simulator 주행 중에 감소하였고, Non_Sick Group은 Fz 부위에서는 안정에 비해 40분 이후부터, Cz 부위에서는 안정에 비해 50분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. Sick Group은 Fz과 Cz 부위에서 모두 안정에 비해 5분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 두 Group 사이의 차이는 Fz과 Cz 부위에서 모두 5분-30분 사이에 통계적 유의차가 나타났으나 35분 이후부터는 유의차가 나타나지 않았다. $\alpha/total$ 의 변화는 안정에 비해 자동차 Graphic Simulator 주행 중에 감소하였고, Non_Sick Group은 Fz 부위에서는 안정에 비해 5분 이후부터, Cz 부위에서는 안정에 비해 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. Sick Group은 Fz과 Cz 부위에서 모두 안정에 비해 5분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 그리고 두 Group 사이의 통계적 유의차는 Fz에서는 10분에서만, Cz에서



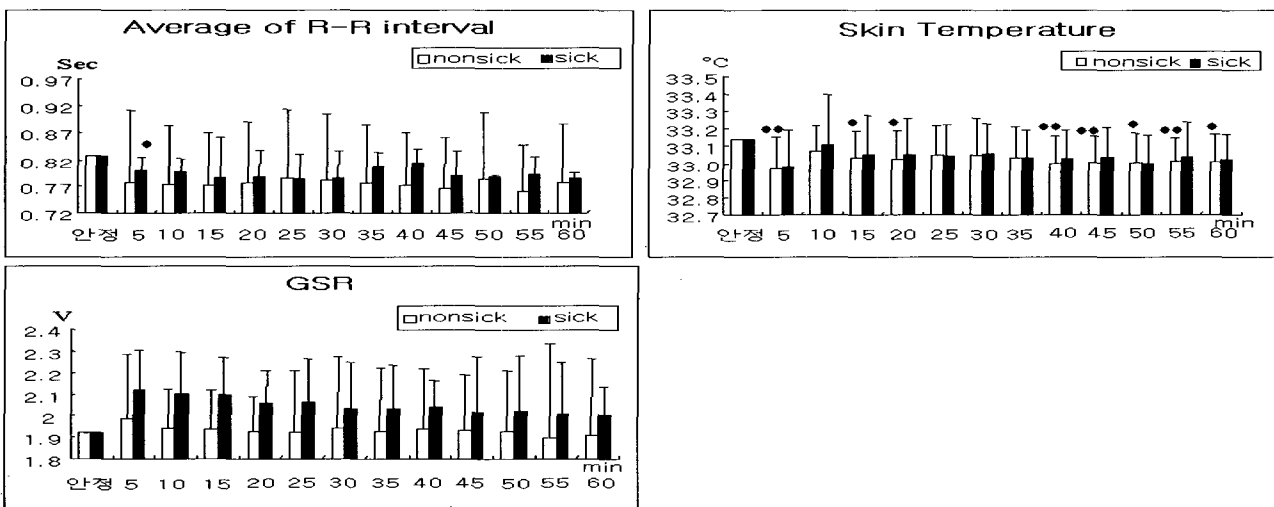
<그림 4> Cz 부위에서 시간에 따른 δ /total, θ /total, α /total, β /total의 변화각 Group의 안정에 대한 통계적 유의차 (◆ $p<0.05$, ◆◆ $p<0.01$, ◆◆◆ $p<0.001$)
 두 Group 사이의 통계적 유의차 (* $p<0.05$, ** $p<0.01$)

는 5분에서만 나타났다. β /total의 변화는 안정에 비해 자동차 Graphic Simulator 주행 중에 감소하였고, Non_Sick Group은 Fz 부위에서는 안정에 비해 35분 이후부터, Cz 부위에서는 안정에 비해 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. Sick Group은 Fz과 Cz 부위에서 안정에 비해 15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났다. 그리고 두 Group 사이의 통계적 유의차가 나타나지 않았다.

그림 5와 같이 Non_Sick과 Sick Group 모두 평균 R-R 간격과 피부 온도는 시뮬레이터 주행시 안정에 비해 감소하였고, 피부전도도는 시뮬레이터 주행시 안정에 비해 증가하는 경향을 보였으나 두 Group 사이의 통계적 유의차는 관찰되지 않았다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 자동차 화상 시뮬레이터에서 피험자에게 일정한 속도(60km/h)로 60분간 주행하게 하여 Simulator Sickness를 유발시키고 Simulator Sickness를 크게 느끼는 그룹 (Sick Group)과 적게 느끼는 그룹 (Non_Sick Group)으로 구분하여 5분간의 시간 간격으로 SSQ를 이용한 주관적 평가와 생리신호의 변화를 시간의 변화에 따라 각각 살펴봄으로써, 두 그룹 사이의 심리 생리적 차이에 대해 연구하고자 하였다. 또한 측정된 여러 생리 신호 중 개인적인 Simulator Sickness 민감도를 정량적으로 측정해 Simulator Sickness를 적게



<그림 5> 자율신경계 반응
 각 Group의 안정에 대한 통계적 유의차 (◆ $p<0.05$, ◆◆ $p<0.01$)

경험하는 피험자를 선별할 수 있는 생리 지표를 찾고자 하였다.

본 연구의 결과에서 주관적 Simulator Sickness 평가 결과는 모든 항목이 시간이 지남에 따라 선형적으로 증가하였고 Sick Group이 Non_Sick Group에 비해 모든 항목에서 거의 2배 이상 증가량이 컸다. 그리고 Non_Sick Group은 시뮬레이터에서 주행 후 약 15-20분 이후부터, Sick Group은 약 10-15분 이후부터 Simulator Sickness를 느낀다고 대답하였다. 그러므로 Sick Group이 Non_Sick Group에 비해 약 5-10 분 빨리 Simulator Sickness를 느끼는 것으로 나타났다. 그리고 두 Group 사이에서도 10-15분 이후부터 통계적 유의차가 나타났으므로 SSQ에 의한 주관적 평가가 Simulator Sickness를 적게 경험하는 피험자를 선별할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

Fz과 Cz 부위에서의 뇌파 변화는 거의 동일하였고 안정에 대한 변화량은 Non_Sick에 비해 Sick Group이 모든 파라미터에서 컸고 이것은 주관적인 SSQ의 결과와 일치하는 것이다. 각 파라미터별로 차이는 있었지만 안정에 비해 통계적으로 유의하게 변화하는 시간은 Sick Group이 Non_Sick Group에 비해 빠른 것으로 나타났다 이것 또한 주관적인 SSQ의 결과와 일치하는 것이다. 그러나 두 Group 사이의 의미 있는 통계적 유의차는 θ /total에서만 나타났다. 이것은 θ /total가 개인적인 Simulator Sickness의 민감도를 객관적으로 측정할 수 있는 생리 지표가 될 수 있다는 사실을 시사한다. 또한 선행 연구에서 주관적인 SSQ 결과와 네 가지 뇌파 성분 즉, δ /total, θ /total, α /total, β /total에 대해 각각 시간의 경과에 따른 상관 관계를 Pearson Correlation법으로 계산하여 상관계수 (γ value)를 구했을 때, 주관적인 SSQ의 시간에 따른 변화와 가장 상관 관계가 큰 파라미터가 θ /total인 것으로 나타났다. 그러므로 θ /total가 향후 정량적이고 객관적인 Simulator Sickness를 판단하는 생리지표로 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다 (정순철 등, 2001b 출판중).

자율 신경계의 반응은 두 Group 사이에 차이는 없었지만 시뮬레이터 주행시 평균 R-R 간격과 피부온도는 안정에 비해 감소하였고, 피부전도도는 안정에 비해 증가하는 경향을 보여 교감신경계가 활성화되었다는 사실을 반영하였다. 이러한 결과는 Simulator Sickness로 유발되는 자율신경계의 변화는 주로 교감신경계의 활동성이 증가하는 방향과 일치하고, 또한 Motion sickness로 인한 증상과 유사하다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이다 (Money, 1970; Valentino, et al., 1993; 김수진 등, 2000a; 김수진 등, 2000b; 김영윤 등, 2000). 본 연구에서는 피험자 수의 부족, 분석 방법의 단순화 등의 이유로 두 Group 사이의 자율 신경계의 반응 차이를 발견하지

못했을 가능성을 배제할 수 없다. 그러므로 향후 충분한 데이터의 확보와 카오스 또는 프랙탈 등의 비선형 분석 방법으로 변별력을 높이고 다양한 분석 방법들을 적용한다면 Simulator Sickness를 정량적으로 변별할 수 있을 것으로 기대한다.

결론적으로, 본 연구의 결과로부터 주관적인 SSQ 결과와 여러 생리 신호 중 뇌파의 θ /total 파라미터가 향후 정량적인 Simulator Sickness를 판단하는 생리지표로 유용하게 사용될 수 있을 것이고 이를 기준으로 Simulator Sickness 증상을 적게 느끼는 피험자를 선별할 수 있다면 시뮬레이터에서의 감성 평가 연구 결과의 신뢰성을 높일 수 있으리라 생각된다.

참고 문헌

- [1] 김도희, 박민용, 이근희; "Driving Simulator에서 Simulator Sickness의 정량적 측정에 관한 연구", 공업경영학회지, 21(48): 165-175, 1998.
- [2] 김수진, 민병찬, 정순철, 김유나, 민병운, 김철중, 박세진; "Graphic Simulator에서 생리신호와 주관적 평가를 통한 Simulator Sickness의 변화", 대한인간공학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp. 10, 2000a.
- [3] 김수진, 민병찬, 정순철, 김유나, 민병운, 김철중, 박세진; "Graphic 시뮬레이터에서 Simulator Sickness의 변화: 남녀와 그룹의 차이", 한국산업경영시스템학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp. 27-37, 2000b.
- [4] 김영윤, 김현주, 정명숙, 이영혁, 문성재, 진창배, 고희동, 박병관, 박광석, 김현택; "가상현실에서의 운행이 인체에 미치는 영향에 대한 심리생리학적 연구", 한국감성과학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp. 242-247, 2000.
- [5] 민병찬, 정순철, 성은정, 전효정, 김철중; "Simulator Sickness에 의해 유발되는 생리적 변화가 감성평가에 미치는 영향", 한국감성과학회지, 4(1): 23-31, 2001.
- [6] 정순철, 민병찬, 김유나, 신미경, 김철중; "화상 시뮬레이터에서 속도변화에 따른 운전자의 감성측정에 관한 연구", 한국감성과학회지, 3(2): 103-112, 2000.
- [7] 정순철, 민병찬, 김유나, 신미경, 김철중; "동적 시뮬레이터에서 속도와 운전 형태 변화에 따른 운전자의 감성 평가", 한국산업경영시스템학회지, 24(65): 51-63, 2001a.
- [8] 정순철, 민병찬, 김철중; "Simulator Sickness에 대한 주관적 평가와 생리 반응과의 상관관계에 관한 연

- 구”, 의공학회지, 출판중, 2001b.
- [9] Biocca, F.; “Will simulation sickness slow down the diffusion of virtual environment technology?”, *Presence*, 1(3): 334-343, 1992.
- [10] Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., and Lilienthal, M. G.; “Postural disequilibrium following training flights”, *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society*, pp. 488-491. 1987.
- [11] Jones, S. A.; “Simulator sickness implications for advanced training technologies”, *Proceedings of the 7th International Symposium on Aviation Psychology*, 1993.
- [12] Kennedy, R. S., and Fowlkes, J. E.; “Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic : Implications for research”, *International Journal of Aviation Psychology*, 2(1): 23-38, 1992.
- [13] Kennedy, R.S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. and Lilienthal, M. G.; “A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness”, *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3): 203-220, 1993.
- [14] Levine, M. W. and Shefner, J. M.; “Fundamentals of sensation and perception”, Belmont, CA:Wadsworth, Inc. 1991.
- [15] McCauley, M. E. and Sharkey, T. J.; “Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments”, *Presence*, 1(3): 311-318, 1992.
- [16] Money, K. E.; “Motion sickness”, *Physiological Reviews*, 50(1): 1-39, 1970.
- [17] Pausch, R., Crea, T., and Conway, M.; “A literature survey for virtual environments: Military flight simulator visual systems and simulator sickness”, *Presence*, 1(3): 344-363, 1992.
- [18] Reason, J. T. and Brand, J. J.; “Motion sickness”, London: Academic Press, 1975.
- [19] Regan, E. C.; “Side-effects of immersion virtual reality”, *International Applied Military Psychology Symposium*, pp. 26-29, 1993.
- [20] Regan, E. C.; “An investigation into nausea and other side-effects of head-coupled immersive virtual reality”, *Virtual Reality: research, development and applications*, 1(1): 17-32, 1995.
- [21] Richard, H. Y., So, R. H. Y. and Lo, W. T. ; “Cybersickness: an experimental study to isolate the effect of rotational scene oscillations”, *Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, pp. 237-241, 1999
- [22] So, R. H. Y.; “An investigation of the effect of lags on motion sickness with a head-coupled visual display”, *Proceeding of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*, 1994.
- [23] Stern, R. M., Hu, S., LeBlanc, R., and Koch, K. L.; “Chinese hyper-susceptibility tovection-induced motion sickness”, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 9: 827-830, 1993.
- [24] Sue, V. G. C., Sarah, N., Amanda, R. and John, R. W.; “Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE)”, *Presence*, 8(2): 169-186, 1999.
- [25] Unga, T.J.; “Simulator induced syndrome in Coast Guard aviators”, *Aviat Space Environ Med*, 59(3): 267-272, 1988.
- [26] Valentino, D. A., Arruda, J. E. and Gold, S. M.; “Comparison of QEEG and response accuracy in good vs. poorer performers during a vigilance task”, *International Journal of Psychophysiology*, 15(2): 123-134, 1993.