

가상환경에서 Simulator Sickness 증상에 관한 연구 - A Study on Symptom of Simulator Sickness in Virtual Environment -

김 도회*

Kim, Do Hoe

박 민용**

Park, Min Yong

이 근희**

Yi, Geun Heui

Abstract

By progress of technology, it became possible for us to do many kinds of operations in virtual environment. However side effect is called simulator sickness may occur to human body when human come in contact with this new environment. It makes symptoms similar to motion sickness. Many studies about that were started in 1950s and have actively been progressing in other countries, but in Korea recognition about that field is insufficient.

Main contribution of this paper would be the base study about phenomena of simulator sickness which may be occurs in simulator or virtual reality environment, factors which induce simulator sickness, and quantifying methods of simulator sickness.

1. 서론

기술의 발전으로 인하여, 많은 위험이 존재하는 작업이나 비용이 많이 드는 작업들을 시뮬레이터라는 가상환경에서 대신할 수 있게 되었다. 이러한 시뮬레이터는 현재 군사, 교통, 우주, 항공, 의학, 오락 등 다양한 분야에서 여러 가지 목적으로 유용하게 사용되고 있다. 그러나 이러한 시뮬레이터를 사용하게 됨으로써 인간의 신체에 어떤 부작용을 일으킬 수 있으며 이러한 부작용을 총칭하여 "simulator sickness"라고 말할 수 있다. 이것은 우리가 흔히 말하는 멀미(motion sickness)의 증상들과도 매우 유사하며, 그 밖에도 여러 가지 증상들을 수반한다.

이에 관한 연구들은 외국에서는 50년대 초반부터 시작되었다. Reason와 Brand(1975)는 "사람이 의도하지 않은 상태에서 어떤 차나 수동적으로 운반하는 장치를 타고 나아갈 때 멀미의 위험성이 일어난다."고 말하였다. 1953년에 Crampton과 Young은 실제 물리적 요동이 없는 강제적인 自動(self-motion) 표현물을 묘사하는 video display 장치를 볼 때도 멀미가 일어날 수 있다는 것을 증명하였다. 1957년 Havron과 Butler는 멀미와 비슷한 현상이 비행기(헬리콥터) 시뮬레이터와 관련됐을 수도 있다고 처음으로 문서로 증명하였다. 최근의 연구들(Knerr, Lampton, Bliss, Moshell & Blau, 1993; Regan, 1993)에서는 simulator sickness로 알려진 이러한 현상이 컴퓨터로 생성된 3차원 입체영상의 가상환경에서도 일어날 수 있으며, 그에 따라 가상현실(Virtual Reality)라는 새로운 기술의 궁극적 유용성에 위협을 주고 있다고 하였다. 그러므로 최근의 연구들은 3차원 입체영상의 시뮬레이터나 가상현실에서의 simulator sickness를

* 한양대학교 대학원 산업공학과

** 한양대학교 공과대학 산업공학과

정량화하고(Kennedy, Lane, et al., 1993) 예측하는(Kolasinski, 1996), 차원의 연구들이 진행되고 있다.

최근 국내에서도 군사, 항공, 교통, 오락 분야를 중심으로 시뮬레이터 개발이 한창 진행중이고 몇 가지는 현재 상용화단계에 있지만 simulator sickness에 대한 연구들은 거의 진행되고 있지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 시뮬레이터나 가상현실 환경에서 일어날 수 있는 simulator sickness 현상에 대해서 알아보고, 그와 관련된 이론들, simulator sickness를 유발하는 요인, simulator sickness 정량화 기법 등에 대하여 알아보고자 한다.

2. Simulator sickness 현상

Simulator sickness는 실제 물리적인 요동없이도 일어날 수 있다는 것을 제외하고 멀미(motion sickness)와 비슷하다. Kennedy와 Fowlkes(1992)는 그 현상이 갖가지 징후와 증세를 나타내기 때문에 증후군이라고 부르는 것이 마땅하다고 하였다. 그 증세의 다양함 때문에 Kennedy와 Fowlkes는 simulator sickness를 "Polysymptomatic(다증상성)"로 묘사했다. 중요한 징후로는 구토, 메스거움, 창백, 식은땀 등 멀미(motion sickness)와 비슷하다. 그 밖의 증세로는 나른함, 혼란, 집중력 곤란, 머리가 꽉찬 느낌(fullness of head), 뿌연 시야, 눈의 피로 등이 포함된다.

또한 Kennedy와 Fowlkes(1992)는 단일 요인이 원인으로 확인된 적이 없기 때문에 simulator sickness는 "Polygenic(다원인적)"이라고 묘사하였다. 연구자들에 의해 확인된 여러 요인들에는 나이나 성별과 같이 개인과 관련된 요인(Reason & Brand 1975)과 화면 지연(Frank, Casali & Wierwille, 1988), 시야(Kennedy, Lilienthal, Berbaum, Baltzley & McCauley, 1989)와 같이 시뮬레이터와 관련된 요인, 기간(Fowlkes, Kennedy & Lilienthal, 1987)과 통제정도(Casali & Wierwille, 1986)와 같이 작업 수행과 관련된 요인들이 있다.

개인에 대한 잠재적 불편함과 함께 시뮬레이터 사용의 감소, 훈련의 손실, 그리고 지상에서나 비행 시에 안전문제와 같이 simulator sickness는 여러 가지 운영상의 영향을 준다(Crowley, 1987). 또한 잔상의 지속, 후휴증(예: Baltzley, Kennedy, Berbaum, Lilienthal & Gower, 1989), shift in dark focus(Fowlkes, Kennedy, Hettinger & Harm, 1993), 눈의 피로(예: Stone, 1993), 그리고 수행도 변화(Kennedy, Fowlkes & Lilienthal, 1993) 등과 같이 시뮬레이터를 탐으로써 생기는 부수적인 영향도 있다.

시뮬레이터를 탐으로써 생기는 또 하나의 심각한 영향은 운동실조증(ataxia)라고 불리우는 자세불안정이다. Baltzley et al.(1989)는 자세의 불안정과 운동실조는 그 후휴증이 6시간이상 지속되고, 어떤 경우에는 12시간이상 지속되기 때문에 안전과 가장 크게 관련된다고 하였다. 비록 ataxia는 항상 존재하는 것은 아니지만 노출시간이나 postural test의 민감성 때문에 기인한다. 분명히 긴 지속적인 영향, 특히 잔상(flashbacks)이나 운동실조(ataxia)와 같은 것들은 시뮬레이터의 사용자들과 그 외의 사람들의 안전에 위협이 된다.

이러한 simulator sickness는 모든 사람들이 격게 되는 것은 아니다. 대략 전체 피실험자의 50%정도는 거의 아무런 증상도 느끼지 않는다. 이근희외(1997)에 따르면 156명을 대상으로 시뮬레이터를 타고 난 후의 증상들에 대해서 설문한 결과 다음 Figure 1과 같다. 전체 156명중 어떤 증상을 느낀 사람은 84명이었고, 그들이 느낀 증상들은 Figure 2와 같다. 중복 응답을 허용했기 때문에 총 98회의 응답중 대부분인 74%(72회 응답)가 어지럽다고 하였고, 머리가 아프다(14%, 14회응답), 토할 것 같다(9%, 9회응답), 기타(3%, 3회응답) 순으로 되어있다. 그 중 기타 증상은 눈이 아프거나 침침하다로 되어 있다. 비록, 이근희외(1997)에서는 증상의 심한 정도를 표현하지 못하고, 다양한 증상을 설문에 포함하지 않아서 설문의 내용을 신뢰하기는 힘들지만, simulator sickness의 중요성을 인식시키기에는 충분하다고 할 수 있다.

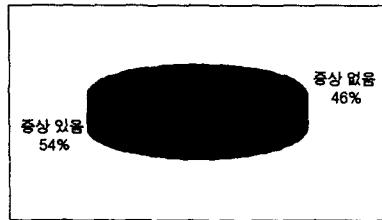


Figure 1 증상의 유무비율

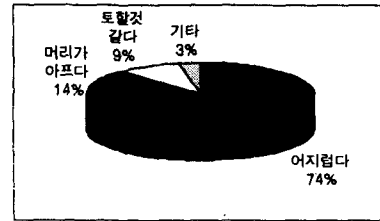


Figure 2 증상의 유형비율

3. Simulator sickness와 관련된 이론

Kennedy와 Frank(1983)은 simulator sickness에 관련된 motion sickness의 이론들에 대해서 기존연구들을 고찰하여 다음과 같이 정리하였다.

1) Vestibular overstimulation theory

Motion sickness가 전정기관의 흑사로 인해 일어난다는 이론(McNally and Stuart, 1942).

2) Fear/anxiety theory

개인의 공포와 걱정이 motion sickness가 일어날 가능성을 증가시키는 직접적인 역할을 한다는 이론(Benson, 1978).

3) Balance of autonomic activity postulate

Motion sickness 증세가 교감신경계와 부교감신경계의 동원기능 불균형으로 일어날 수 있다는 이론(Tang, 1970).

4) Toxic reaction theory

Motion에 의해 일어나는 불편이 독성이 있다면 그것을 제거하기 위해 토하는 반응을 한다라는 가정에 의한 이론(Treisman, 1977).

5) Fluid shift theory

Motion 자극 및 또는 무중력 때문이나 대뇌순환의 불충분이나 과잉으로 인해 신체내의 유동체 부피의 비정상적인 변화가 motion sickness를 유발한다는 이론(Lackner and Graybiel, 1983; Steele, 1968)

6) Sensory(perceptual) conflict theory(Claremout, 1931)

Motion sickness는 다양한 감각기관에 의해 지각된 운동정보들 가운데서 불일치에 대한 반응이고, 기대된(expected) 감각 입력과 경험한(experienced) 감각 입력간의 불일치로 인해 일어날 수 있다. 근본적으로 전정기관과, 운동감각, 시각체계로 느낀 운동정보가 참조체계에 입력되고 그것에 의하여 입력정보는 과거의 경험이나 자연적으로 부여된 체계선에 기초한 예상정보의 신경 저장소와 비교된다(Kennedy and Frank, 1983).

이 이론은 현재까지 simulator sickness 연구와 관련된 문헌들에서 가장 많이 인용되고 있고 있기 때문에 본 장에서 자세히 다루고자 한다. 또한 Kennedy와 Frank(1983)의 motion sickness 관련 이론들 외에도 최근에 Riccio과 Stoffregen (1991)에 의해 제안된 생태학적 이론인 자세 불안정(Postural instability)에 대해서도 자세히 다루고자 한다.

3.1 감각기관 충돌이론(Sensory conflict theory)

Claremout (1931)에 의해 처음으로 제안된 perceptual conflict theory, sensory rearrangement, cue conflict theory 또는 neural mismatch theory로도 알려진 감각기관의 충돌이론(the sensory conflict theory)이 simulator sickness를 설명하는 이론으로 발전되었다. 이

이론은 서로 다른 감각기관과 단일 감각기관내의 입력패턴이 과거 경험에 기초하여 저장된 입력 패턴과 일치하지 않을 때 sickness가 일어난다고 제안하였다.

Simulator sickness를 일으킨다고 생각되는 두 가지 근본적인 충돌은 시각과 전정기관간의 충돌(즉, intersensory conflict)과 전정기관내의 canal들과 otolith들간의 충돌(즉, intrasensory conflict)이다(Guedry, 1968). 두 번째 충돌은 자기자극감수(proprioception)에 의해 온다. 이들 충돌이 (감각기관 충돌이론에 따라) sickness를 일으키는 것뿐만 아니라 충돌 자극에 대한 시각과 전정 적응이 균형과 정합(整合)을 혼란시킬 수 있으며, 운동실조증(ataxia)을 일으킬 수 있다(Fregly, 1974).

3.2 자세 불안정(Postural instability)

Simulator sickness의 두 번째 이론은 Riccio and Stoffregen (1991)에 의해 제안되었다. 이 생태학적 이론은 개개인이 기능적으로 효과적인 자세제어(postural control)를 유지하는 방법을 지니지 못했거나 아직 배우지 못한 상황에서 sickness가 일어난다고 제안했다. 이 이론은 시각, 전정, 자기수용 감각사이나 내에서의 redundancy가 기대되고 이러한 redundancy의 부족으로 인해 sickness가 생긴다는 감각기관 충돌이론의 기초 가정에 이의를 제기했다.

Stoffregen and Riccio (1991)에 따르면 그러한 redundancy는 반드시 기대되는 것은 아니며, 그러므로 감각충돌을 결정하는데 믿을 만한 기준이 되지 못한다고 하였다.

비록 생태학적 이론이 sensory conflict theory와 경쟁할 수 있다하더라도, sensory conflict theory는 현재 가장 널리 알려진 simulator sickness 이론이며, 문헌에 널리 알려 졌고 많은 자료에 의해 지지를 받기 때문에 가장 유망하다.

4. Simulator sickness에 영향을 주는 요인

Simulator sickness는 앞에서 논했듯이 여러 가지 원인들에 의해서 발생할 수 있다. Kolasinski(1995)는 가상현실에서 simulator sickness에 영향을 줄 수 있는 요인들을 Table 1과 같이 크게 세 가지(개인에 관련된 요인, 시뮬레이터와 관련된 요인, 작업에 관련된 요인) 범주로 나누었다. 본 장에서는 그 중 개인에 관련된 요인에 대해서 자세히 다루고자 한다.

4.1 나이(Age)

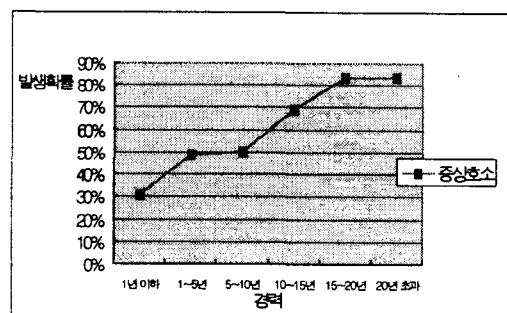
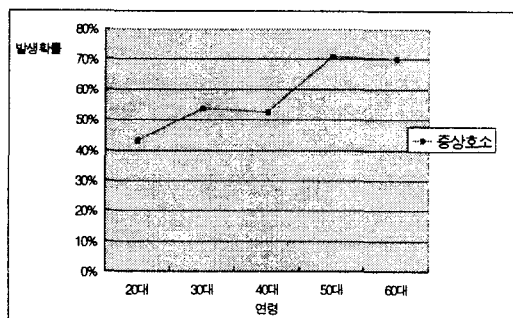
Reason과 Brand (1975)는 motion sickness 발생가능성은 2에서 12세 사이가 가장 크다고 보고하였다. 이는 12세에서 21세까지는 급격히 감소하다가 그 후 완만히 감소하게 된다. 50세 정도에서는 Motion sickness가 거의 존재하지 않는다고 하였다.

그러나 감각기관의 충돌은 자극의 실제패턴과 반복된 경험으로 얻은 자극의 기대 패턴간에 일어난다고 생각되기 때문에, simulator sickness의 감각기관 충돌이론에 중요한 역할을 하는 현실세계의 경험은 나이와 밀접한 관계가 있다.

나이와 경험은 상관관계가 있고, 뒤에서 다루게 되겠지만, 현실세계의 경험은 sickness와 양상관관계가 있다. 이근희외(1997)의 자료(Figure 3)를 분석해보면 연령과 운전경력이 증가할수록 simulator sickness의 발생확률이 증가함을 알 수 있다.

Table 1 가상환경에서 simulator sickness와 관련된 잠재적 요인들 (from Kolasinski, 1995)

Individual	Simulator	Task
age	binocular viewing	altitude above terrain
concentration level	calibration	degree of control
ethnicity	color	duration
experience with real-world task	contrast	global visual flow
experience with simulator (adaptation)	field of view	head movements
flicker fusion frequency threshold	flicker	luminance level
gender	inter-pupillary distance	unusual maneuvers
illness and personal characteristics	motion platform	method of movement
mental rotation ability	phosphor lag	rate of linear or rotational acceleration
perceptual style	position-tracking error	self-movement speed
postural stability	refresh rate	sitting vs. standing
	scene content	vection
	time lag (transport delay)	type of application
	update rate (frame rate)	
	viewing region	



(a) 연령별 분포

(b) 경력별 분포

Figure 3 연령과 운전경력에 따른 simulator sickness 발생 확률

4.2 집중 수준(Concentration level)

Regan(1993)은 높은 수준의 정신집중이 낮은 수준의 sickness와 관련이 있을 것이라는 것을 관찰하였다.

4.3 민족성(Ethnicity)

Stern, Hu, LeBlanc & Koch (1993)는 시각적인 것으로 인해 일어나는 motion sickness의 발생가능성에 대해 서로 다른 민족 그룹간을 비교하였다. 피실험자들은 모두 여자였고, 중국계, 유럽계 미국인, 아프리카계 미국인인 3그룹으로 형성되었다(중국계는 중국 태생이었고, 반면에 나머지 두 그룹은 미국 태생이었다.). circular vection drum이라는 장치가 vection(실제로는 움직이지 않지만 움직이고 있다는 느낌을 받는 것)을 일으키기 위해 사용되었고 그 동안 위근전계(electrogastrography : EGG) 신호가 측정되었고 motion sickness의 주관적 증상이 기록되었다. Stern et al.(1993)은 중국계 그룹이 다른 그룹들보다 구토나 다른 motion sickness 증상이 더 심하다는 것을 발견하였다. 드럼이 도는 동안 EGG신호에서도 이와 비슷한 결과가 나왔다. 이들 결과는 중국계 여성이 유럽계 미국인이나 아프리카계 미국인 여성과 비교했을 때 훨씬 motion sickness 유발가능성이 높다는 그들의 가정을 지지했다. 두 가지 이론이 이 실험에서 얻어진 차이를 설명하기 위해 나왔다. 한가지는 모든 중국인 피실험자는 미국에서 3년 미만 생활했기 때문에 환경적인 요인 때문일 것이라는 것과 유전적으로 중추 신경세포에 작용하는 호르몬인 카테콜아민(catecholamine)을 투여하는 양의 차이 때문이라는 것이다.

4.4 현실세계의 경험(Experience with the real-world task)

Kennedy, Berbaum, Lilienthal, Dunlap, Mulligan & Funaro (1987)은 비행경험이 많고, 시뮬레이터 시간이 적은 비행사가 비행시간이 적은 비행사보다 simulator sickness에 걸리기 쉽고 하였다. 비록 그러한 관계가 종종 관찰되었지만, 다른 문헌들과 완전히 일관되지는 않았다(Kennedy et al., 1988). Kennedy et al. (1988)은 그런 관계가 관측된 경우에 실제 비행의 감각 측면에서 비행사의 경험이 실제비행과 모의비행간의 불일치에 크게 민감할 수 있다고 하였다. Crea & Conway (1992)는 두 가지 다른 그럴싸한 설명을 제공했다. 훈련비행사는 비행교관보다 더 많이 비행기 제어장치를 조종하기 때문에 작업 제어 정도가 인자가 될 수 있다고 하였다. 두 번째, 만약 최적 viewing 위치가 훈련원생의 위치에 있다면, viewing region이 인자가 될 수 있다고 하였다. 경험과 sickness간의 양상관계가 있는 경우가 관측되지 않은 경우에, Kennedy et al. (1988)은 경험이 많은 비행사는 어떤 메카니즘적인 적응을 통해서 simulator sickness에 걸리지 않도록 보호되었거나, simulator sickness 걸린 사람들은 비행 경력 외의 것에 의해 걸렸을 것이라고 제안하였다.

4.5 시뮬레이터의 경험(적응)(Experience with the simulator (adaptation))

Uliano, Lambert, Kennedy & Sheppard (1986)는 처음 모의비행을 한 비행사가 그 다음 모의비행에서 빨리 적응할 수 있고, 그러므로 시간이 갈수록 sickness가 덜 일어난다는 것을 발견하였다. 그래서 시뮬레이터 경험(적응)이 많을 수록 일반적으로 sickness 발생이 줄어든다. 이는 sickness를 일으키는 자극에 내성을 지닐 수 있거나 sickness를 피하는 방법을 배울 수 있다는 것을 의미한다. 비록 이러한 적응은 sickness를 줄이는데 도움을 줄 수 있지만, Kennedy and Frank(1983) 개인이 보통환경에 돌아왔을 때 문제의 원인이 될 수 있다고 지적하였다. 이와 비슷하게도 Regan(1993)은 VE 체계에서의 몰두의 되풀이로 인해 피실험자가 더 체계에 익숙하게 되고, 자신감을 갖게되고 상호작용하게 됨으로써 sickness가 줄어들게 되어 몰두하는 동안 적응이 증상이 감소될 수도 있지만 몰두 후 증세가 더 심할 수 있다고 하였다.

4.6 Flicker fusion frequency threshold

Flicker는 시뮬레이터와 관련된 요인들 중의 하나로서 디스플레이 장치의 특성을 나타낸다. 그러나 개인의 특성인 flicker와 관련된 또 다른 쟁점이 있다. 이것은 Flicker fusion frequency threshold이다. 이 threshold는 명멸을 시각적으로 지각할 수 있는 지점으로 정의된다. Grandjean (1988)는 인간의 flicker fusion frequency threshold은 주간에는 증가하고, 야간에는 감소한다고 지적하였다. 더욱이, 성별, 나이, 지능과 같은 여러 차원에 따라 threshold의 개인차가 크다(e.g., Botwinick & Brinley, 1963; Maxwell, 1992; Wilson, 1963).

4.7 성별(Gender)

Biocca(1992)는 남자와 여자는 motion자극에 대한 감각반응의 차이는 없지만, 여자는 더 motion sickness에 걸리기 쉽다고 보고하였다. 그는 이는 자가 진단한 남자의 발생가능성이 적게 신고 됐기 때문일 것이라고 지적했지만, 호르몬 영향 때문일 수도 있다고 하였다. 예를 들어 발생가능성은 임신이나 월경기간동안 변화할 수 있다. 그러나, Kennedy and Frank (1983)은 여자가 남자보다 넓은 시야를 가지고 있고, 넓은 시야는 simulator sickness발생이 증가하는 결과를 가져온다고 하였다.

4.8 병력과 개인적 특성(illness and personal characteristics)

병력도 simulator sickness 발생가능성에 관련해서 잠재적인 인자로 확인되어 왔다. Kennedy, Berbaum, et al. (1987)은 정상 건강상태가 아닌 피실험자들에 대해서 시뮬레이터 노출에 대한 조언을 하였고, Kennedy, Lane, et al. (1993)은 SSQ를 조사할 때 정상건강 상태에 있는 사람만 샘플로 취해야 한다고 조언하였다. 이는 어떤 약물을 취하거나 독감 주사를 맞았을 때뿐만 아니라 피로, 불면증, 숙취, 위장병, 감정적 스트레스, 코감기, 귀 감염, 청각장애(ear blocks), 또는 독감 등에 걸린 사람들이 포함된다.

게다가 Biocca (1992)은 신경증, 불안, 각성, 내향성과 같은 개인적 특성이 sickness 유발가능성과 관련이 있을 것이라고 하였다.

4.9 정신적 회전 능력(Mental rotation ability)

Parker and Harm(1992)는 가상환경에서 일어나는 sickness에 있어서 정신적으로 물체를 회전하는 능력과 이 능력이 행할 수 있는 역할에 대해 논하였다. 정신적 회전은 보통의 방위에 있지 않을 때 사람이 물체를 인식할 수 있도록 해주는 것이다. Parker and Harm의 실험은 무중력 환경에 대하여 논하였지만 그들은 무중력과 같이 가상환경도 자극 재배치를 일으키기 때문에 그 결과는 가상환경에도 응용될 수 있다고 하였다. 그들은 방향잡기에 도움을 주는 자극들간의 정상적인 공간 관계의 변질이나 방해로 자극을 재배치한다고 정의하였다. 그런 재배치는 예를 들어 실제환경에서는 서있지만 가상환경에서는 앞으로 걸어 갈 때 일어날 수 있다.

2.3.10 지각 양식(Perceptual style)

지각양식을 분류하는 것은 개인이 field내의 아이টে임을 지각 할 때 surrounding field가 영향을 미치는 정도를 나타낸다. 다른 말로는 개인이 분석적으로 지각하는 정도를 나타내는 것이다(Witkin, Moore, Goodenough & Cox, 1977).

개인의 지각 양식은 field-independent나 field-dependent로 분류된다. "Field-independent"인 사람들은 아이템들을 surrounding field로부터 분리해서 지각할 수 있다. 그런 사람들은 복잡한 패턴에서 기하학적 패턴을 성공적으로 가려낼 수 있다. 그러나 "field-dependent"인 사람들은 강하게 surrounding field에 지배된다. 그러한 사람들은 복잡한 패턴으로부터 기하학적 패턴을 식별하기 어렵다.

Field-independent인 사람들이 field-dependent인 사람들 보다 body cues에 더 민감하다고 제안되어 왔다(Barrett & Thornton, 1968). 움직이는 화면에서 정적인 신체 신호와 동적인 시각 신호간의 이러한 민감성과 충돌 때문에 field-independent인 사람들은 field-dependent인 사람보다 더 simulator sickness에 걸리기 쉽다고 예측했다(Barrett & Thornton, 1968).

2.3.11 자세안정성(Postural stability)

자세안정성 (Postural stability)은 시뮬레이터의 노출로 인한 안정성 감소를 알아보기 위해 simulator 노출 전후에 종종 측정되곤 한다. 최근의 조사에 따르면, 시뮬레이터 탑승 전의 자세 안정성과 탑승 후 simulator sickness 사이에 관계가 있을 수도 있다고 하였다(Kolasinski, Jones, Kennedy & Gilson, 1994).

Kolasinski et al. (1994)은 자세가 덜 안정되어있는 사람이 simulator sickness를 더욱 경험하기 쉽거나 심한 통증을 경험할 수 있고, 자세가 안정된 사람일수록 simulator sickness를 덜 겪거나 약간의 통증만을 경험할 것이라고 가정했다. 이 가설을 연구하기 위해서, 미해군 헬기 조종사의 시뮬레이터 탑승전 자세안정성과 탑승후의 simulator sickness의 자료를 분석했다. 거기에서 탑승전 자세안정성은 SSQ에서 메스꺼움과 방향감각상실의 증상군의 점수들과 강한 연관이 있다는 것을 발견했다. 자세안정성은 안구운동 불편에 대한 증상군의 점수들과는 관계가 없다고 나타났다.

5. Simulator sickness 정량화 기법

5.1 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)

설문이나 증상 checklists가 가장 보편적인 simulator sickness의 측정 수단이다. 이는 simulator sickness의 다증상적(polysymptomatic) 특성 때문에 한가지 신호나 증상을 측정하는 것은 충분치 않다(Kennedy & Fowlkes, 1992). 90년대 이전까지, 가장 자주 사용되어온 설문은 Pensacola Motion Sickness Questionnaire(MSQ) (Kellogg, Kennedy & Graybiel, 1965)이었다. 이 설문은 28개 증상에 대해 심한 정도를 4점 척도(아무렇지도 않다, 약간, 보통, 심하다)로 레이팅을 하여 자가진단 하는 방식으로 되어있다. 비록 MSQ의 다증상 점수가 다증상성(polysymptomaticity)을 고려하고 있지만 simulator sickness 연구에 응용하기에 부족한 점은 단일 결과점수가 sickness의 복합적이고 분리가 가능한 차원에 대한 아무런 정보를 제공하지 못하고 있다는 것이다(Kennedy & Fowlkes, 1992). 이러한 이유에서 simulator sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993)가 개발되었다.

Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, (1993)의 SSQ는 10가지 시뮬레이터에서 수집된 1119개의 MSQ를 요인분석하여 얻어졌다. SSQ의 증상들은 4점척도(0=아무렇지도 않다, 1=약간, 2=보통, 3=심하다)로 레이팅된 16가지 증상으로 줄였다. 요인분석결과 이들 레이팅들은 종합점수(Total Severity score)뿐만 아니라 3가지의 증상군의 점수들(메스꺼움, 안구운동 불편, 방향감각상실)을 형성하였다. 그 3가지 증상군의 점수들 구성하는 증상들은 Table 2와 같다(Kennedy, Lane, et al., 1993).

Table 2 요인분석에 의해 형성된 증상군

메스꺼움 (Nausea)	안구운동불편 (Oculomotor)	방향감각상실 (Disorientation)
일반적인 불편 (General Discomfort)	일반적인 불편 (General Discomfort)	눈을 떴을 때의 현기증 (Dizziness ; eyes open)
메스꺼움 (Nausea)	피로 (Fatigue)	눈을 감았을 때의 현기증 (Dizziness ; eyes closed)
위에 대한 부담감 (Stomach awareness)	눈의 피로 (Eyestrain)	빙빙도는 느낌의 어지러움 (Vertigo)
침분비의 증가 (Increased salivation)	눈의 초점 맞추기가 어려움 (Difficulty focusing)	눈의 초점 맞추기가 어려움 (Difficulty focusing)
트림 (Burping)	뿌연 시야 (Blurred vision)	메스꺼움 (Nausea)
발한 (sweating)	두통 (Headache)	머리가 꽉찬 느낌 (fullness of head)
집중하기 곤란함 (difficulty concentrating)	집중하기 곤란함 (difficulty concentrating)	뿌연 시야 (blurred vision)

위의 Table 2를 보면 각 증상군 간에 동일한 증상이 중복되는 경우가 있다. 이것은 요인분석에 의해서 나누어졌기 때문에 그렇다.

앞에서도 다루었지만 정상적인 건강상태에 있지 않은 사람들은 simulator sickness에 걸릴 가능성이 높아질 수 있다. 그렇기 때문에 Kennedy, Lane, et al. (1993)은 SSQ를 관리하는데 있어서 그러한 사람들은 샘플에 포함시켜서는 안된다고 조언하였다.

주어진 상황에서 SSQ 점수가 결정되었으면 그 결과는 여러 방법으로 쓰일 수 있다. Kennedy, Lane, et al. (1993)은 종합점수(total severity)는 증상의 전반적인 심한 정도를 나타내고 주어진 시뮬레이터가 sickness 문제를 가지고 있는지를 판별하는 최적의 지표를 제공할 것이라고 지적하였다. 추가적으로 각 증상군의 점수는 sickness 결과의 특정 특성에 대한 진단적 정보를 제공할 수 있다. 그래서 그 자료들은 4가지 점수 모두는 0값(아무 증상도 없음)을 가지고 있고 그 값이 증가할수록 심한 정도가 증가하기 때문에 단독으로 고찰 될 수 있다. 또한 Kennedy, Lane, et al.은 원 데이터에 기초해서 새로운 점수의 백분위 점미 결정될 수 있고 평균과 표준편차가 비교될 수 있도록 원 데이터를 제공하였다.

따라서 최근의 simulator sickness 연구들에서 simulator sickness를 정량화 하는데 있어서 SSQ가 가장 보편적으로 사용되어지고 있다. 그러나 Kennedy et al. (1993)의 SSQ에는 몇 가지 문제점이 내포되어져 있다.

첫째, SSQ에 사용된 증상들에는 인간의 신체나 Simulator 운영에 치명적인 영향을 미치거나 simulator sickness를 대표할 수 있는 중요한 증상들이 있을 수 있다. 이러한 증상의 중요도가 점수화 과정에 꼭 포함되어야 하는데 기존의 SSQ 점수화 과정에서는 이를 무시하고 다른 증상들과 똑같이 취급하였다.

두 번째, SSQ의 증상들을 추출해 내기 위해서 MSQ의 28가지 증상에 바탕을 두었지만 현재까지 알려진 simulator sickness 관련 증상들 중에서 MSQ의 28개 증상들에 포함되지 않은 증상들이 있다. 예를 들어, 창백, 운동실조증(Ataxia) 등이 있다. 또한 MSQ에는 포함되었지만 SSQ에서는 제외시킨 증상들 중에는 simulator sickness를 대표할 만한 증상들도 포함되어 있

다. 그 예가 구토이다. Kennedy et al. (1993)은 구토를 SSQ에서 뺀 이유는 1200명 중에서 구토를 일으킨 사람이 2명밖에 되지 않아서라고 이야기 하지만 건장한 군인들이 아닌 일반인을 대상으로 했을 때는 그 발생빈도가 상당히 높아질 것이다. 실제로 이근희외(1997)의 연구에서 일반인 156명을 관측하였을 때 구토직전의 증세를 보인 사람은 2명이었다.

세 번째, SSQ의 점수화 과정에 사용된 데이터는 특정 계층(군인)층에서 얻어진 것이기 때문에 일반인을 대상으로 하였을 때는 다른 결과를 가져올 수 있다.

네 번째, 사용된 시뮬레이터가 다른 속성들을 가지고 있기 때문에 단순히 요인분석을 취해서 얻은 결과로 점수화 해서는 안된다. 예를 들면 10가지 종류의 시뮬레이터의 임무시간이 틀림없이 동일하지 않을 것이므로 그에 따른 노출 시간이 서로 다르므로 각 시뮬레이터 종류간의 편차가 클 것이다.

다섯 번째, 그 밖의 simulator sickness에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 설명이 부족하다. 예를 들면 한 피실험자가 시뮬레이터를 여러 차례 뒀었는지, 처음 한번만 뒀었는지에 대한 설명이 없다.

따라서 위와 같은 문제점들을 보완하는 새로운 SSQ의 개발이 요구되어진다.

5.2 Postural Test

어떤 연구(예를들어 Baltzley et al., 1989)들은 운동실조증(ataxia)을 평가하는 수단으로 자유 응답조사를 사용해왔다. 운동실조증은 postural tests로도 측정할 수 있다. 선호하는 쪽 다리를 중심으로 서있는 것, 선호하지 않는 쪽 다리를 중심으로 서있는 것, 발가락 끝으로 까치발로 서있는 것, 발가락 끝으로 까치발로 서서 걷는 것이 기본적인 4가지 테스트이다. 이 각각의 테스트에서, 피험자는 어떤 특정한 시간 동안 서 있거나, 특정한 걸음 수만큼 걸을 수 있어야 한다. 자세측정은 피험자가 서있을 수 있는 (최대)시간이나 피험자가 걸을 수 있는 (최대)걸음이다. 게다가 자세 테스트는 눈을 뜨는 것과 감는 것, 팔을 뻗치는 것과 팔짱끼는 것 등 서있는 자세를 다양하게 변화를 시킴으로써 이 기본 4가지에 추가해서 생성시킬 수 있다.

Thomley et al. (1986)은 반복된 운동실조증의 측정에 대하여 4개의 기본 테스트의 신뢰도를 평가했다. 그들은 30분 동안 video games을 즐기게 한 전후를 기본으로 한 테스트를 연구했다. 게임의 사용은 다른 실험적 목적을 위한 것이고, 자세 효과를 기대한 것은 아니다. 모든 테스트에 대하여, 피험자는 팔을 엇갈리게 하고(팔짱끼고) 눈은 감게 하였다. 상관분석 뿐만 아니라 평균과 분산에 기초하여 Thomley et al.은 선호하지 않는 쪽 다리를 중심으로 서있는 것이 선호하는 쪽 다리를 중심으로 서있는 것보다 우수하다고 추천했다.

5.3 생리신호에 의한 측정법

Simulator sickness를 측정하는데 가장 일반적인 척도는 설문이나 자세시험이다. 생리학적 척도는 자주 사용되지 않는데, 아마도 장비의 비용이나 사용에 따르는 노력이 크고, 신뢰성과 민감성이 낮거나 입증되지 않은 경우도 종종 있기 때문일 것이다. Money(1970)은 멀미의 징후와 증상에 대한 포괄적인 고찰에서 생리학적 척도를 사용해 보았지만 그와 관련된 뚜렷한 결과를 발견하지 못했다.

Miller, Sharkey, Graham & McCauley(1993)은 미육군 헬기조종사로부터 자가진단된 simulator sickness의 심한 정도에 대한 생리학적 척도의 민감성을 입증하였다. 여기에는 tachygastria(急速胃症 : 위운동에서 대단히 빠른 속도의 전압변동이 발생하는 것), normal myoelectrical gastric activity, skin conductance level, vagal tone(미주신경의 활동상태; HRV(Heart Rate Variability(심장박동변화율)이라고도 알려져 있음), 그리고 heart period 등 5

가지 생리학적 척도가 적용되었다. Tachygastrica과 normal myoelectrical gastric activity는 둘다 electrogastrogram(EGG) 데이터를 discrete Fourier-transform해서 얻을 수 있다 - tachygastrica는 분당 4에서 9 cycle(cpm)이고, normal myoelectrical gastric activity는 3cpm이다. Skin conductance level은 팔뚝의 flexor부분에 2개의 전극을 붙여 측정하였다. vagal tone은 심전계(ECG) 데이터를 Fourier-transform해서 얻을 수 있고 부교감신경 활동의 지표를 제공해주며, respiratory sinus arrhythmia(호흡성 동성부정맥)의 중간요소(0.12에서 0.4Hz)를 측정한다. ECG데이터를 심장박동의 역수를 취해 심장박동 주기를 얻을 수 있다. Miller et al.(1993)은 5가지 생리학적 척도를 비교해 보면, vagal tone과 normal myoelectrical gastric activity보다는 심장박동 주기, tachygastrica, skin conductance level이 더 민감하다고 하였다.

Miller et al.(1993)은 simulator sickness의 생리학적 척도에 대해 그들의 연구를 계속할 계획이고 민감성을 높이기를 희망하였다. 만약 생리학적 척도가 신뢰할 수 있고, 타당하다면 simulator sickness의 객관적 척도를 제공할 수 있을 것이다. 이러한 생리학적 척도가 주관적 척도인 SSQ의 점수와 상관관계를 가지면 아주 이상적일 것이다.

4. 결론

시뮬레이터나 가상현실은 우리에게 많은 시간과 비용을 절감시켜 줄 것이고, 위험으로부터 보호해줄 수 있는 유익한 기술이기 때문에 급속히 발달하는 기술에 따라 우리는 멀지 않은 미래에 자주 접하게 될 것이다. 하지만 simulator sickness라는 부작용이 이러한 새로운 기술의 궁극적 유용성에 위협을 줄 수도 있을 것이다. 따라서, 시뮬레이터나 가상현실 기술과 병행하여 이에 대한 연구도 활발히 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 국내에서는 잘 소개되지 않았던 simulator sickness 현상과 그 관련 이론들 및 simulator sickness를 유발하는 요인, simulator sickness 정량화 기법 등에 대하여 알아보았다.

향후 simulator sickness 연구에서는 simulator sickness의 정량화 및 예측기법과 함께 예방법의 연구가 체계적으로 이루어져야 할 것이다. 그러기 위해서는 앞에서 논한 simulator sickness의 정량화 기법 중 기존 SSQ의 문제점들의 보완과 생리적 척도와 주관적 척도간의 상관관계 파악이 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이근희, 박민용, 오영진, 김도희 (1997). 운전기능(적성)검사기기 보완검증. 한양대학교 산업과학연구소.
2. Baltzley, D. R., Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G. & Gower, D. W. (1989). The time course of postflight simulator sickness symptoms. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 60(11), 1043-1048.
3. Barrett, G. V. & Thornton, C. L. (1968). Relationship between perceptual style and simulator sickness. *Journal of Applied Psychology*, 52(4), 304-308.
4. Benson, A.J. (1978). Motion sickness. In G. Dhenin, G.R. Sharp & J. Ernsting (Eds.), *Aviation medicine: Physiology and human factors* (Ch. 22). London: Tri-med Books Limited

5. Biocca, F. (1992). Will simulation sickness slow down the diffusion of virtual environment technology? *Presence*, 1(3), 334-343.
6. Botwinick, J. & Brinley, J. F. (1963). Age differences in relations between CFF and apparent motion. *Journal of Genetic Psychology*, 102, 189-194.
7. Casali, J. G. & Wierwille, W. W. (1986). Vehicular simulation-induced sickness, Volume III: Survey of etiological factors and research facility requirements. IEOR Technical Report No. 8503. (NTSC TR 86-012). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.
8. Claremont, C.A. (1931). The psychology of seasickness. *Psyche*, 11, 86-90.
9. Crampton, G.H. & Young, F.A. (1953). The differential effects of a rotary visual field on susceptibles and nonsusceptibles to motion sickness. *Journal of Comparative Physiological Psychology*, 46, 451-453.
10. Crowley, J. S. (1987). Simulator sickness: A problem for Army aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 58(4), 355-357.
11. Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., Hettinger, L. J. & Harm, D. L. (1993). Changes in the dark focus of accommodation associated with simulator sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64(7), 612-618.
12. Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S. & Lilienthal, M. G. (1987). Postural disequilibrium following training flights. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society*, 488-491.
13. Frank, L. H. & Casali, J. G. (1986). Simulator sickness: A review of its costs, countermeasures, and prediction (Technical paper 861782). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
14. Fregly, A.R. (1974). Vestibular ataxia and its measurement in man. In H.H. Kornhuber (Ed.), *Handbook of sensory physiology, part 2, psychophysics and general interpretation* (Ch. V). New York: Springer-Verlag.
15. Grandjean, E. (1988). *Fitting the task to the man*. London: Taylor & Francis.
16. Guedry, F.E. (1968). Conflicting sensory orientation cues as a factor in motion sickness. Fourth Symposium on The Role of the Vestibular Organs in Space Exploration, Naval Aerospace Medical Institute, Pensacola, FL. 24-26 September, 1968, 45-51. U.S. Government Printing Office: Washington, D.C
17. Havron, M.D. & Butler, L.F. (1957, April). Evaluation of training effectiveness of the 2FH2 helicopter flight trainer research tool (Tech. Report NAVTRADEVCCEN 1915-00-1). Port Washington, NY: Naval Training Device Center.
18. Kellogg, R. S., Kennedy, R. S. & Graybiel, A. (1965). Motion sickness symptomatology of labyrinthine defective and normal subjects during zero gravity maneuvers. *Aerospace Medicine*, 4, 315-318.
19. Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G., Dunlap, W. P., Mulligan, B. F. & Funaro, J. F. (1987, March). Guidelines for alleviation of simulator sickness symptomatology. (NAVTRASYSSEN TR-87007) (AD-A182 554 NAVTRASYSSEN TR-87007). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.

20. Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. E. (1992). Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research. *International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23-38.
21. Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E. & Lilienthal, M. G. (1993). Postural and performance changes following exposures to flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64(10), 912-920.
22. Kennedy, R. S. & Frank, L. H. (1983). A review of motion sickness with special reference to simulator sickness. Paper presented at the National Academy of Sciences/National Research Council Committee on Human Factors, Workshop on Simulator Sickness, 26-28 September 1983, Naval Post-Graduate School, Monterey, CA.
23. Kennedy, R. S., Hettinger, L. J. & Lilienthal, M. G. (1988). Simulator sickness. In G. H. Crampton (Ed.), *Motion and Space Sickness*, Chapter 15, 317-341. Boca Raton, FL: CRC Press.
24. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3) 203-220.
25. Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzley, D. R. & McCauley, M. E. (1989). Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 60(1), 10-16.
26. Knerr, B. W., Lampton, D. R., Bliss, J. P., Moshell, J. M. & Blau, B. S. (1993, July). Human performance in virtual environments: Initial experiments. *Proceedings of the 29th International Applied Military Psychology Symposium*. Wolfson College, Cambridge, UK.
27. Kolasinski, E.M. (1995). *Simulator sickness in virtual environments (ARI Technical Report 1027)*. Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
28. Kolasinski, E.M. (1996). *Prediction of Simulator Sickness in a Virtual Environment*. Unpublished doctoral dissertation, University of Central Florida, Orlando, Florida.
29. Kolasinski, E. M., Jones, S. A., Kennedy, R. S. & Gilson, R. D. (1994, October). Postural stability and its relation to simulator sickness. Poster session presented at the 38th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. Abstract appears in *Proceedings of the 38st Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 2, 980.
30. Maxwell, C. A. (1992, November). Flicker science and the consumer. *Information Display*, November, 7-10.
31. Miller, J. C., Sharkey, T. J., Graham, G. A. & McCauley, M. E. (1993). Autonomic physiological data associated with simulator discomfort. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64(9), 813-819.
32. Money, K. E. (1970). Motion sickness. *Physiological Reviews*, 50(1), 1-39.
33. Parker, D. E. & Harm, D. L. (1992). Mental rotation: A key to mitigation of motion sickness in the virtual environment? *Presence*, 1(3), 329-333.

34. Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). Motion sickness. London: Academic Press.
35. Regan, E. C. (1993). Side-effects of immersion virtual reality. Paper presented at the International Applied Military Psychology Symposium, July 26-29.
36. Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecological Psychology*, 3(3), 195-240.
37. Stern, R. M., Hu, S., LeBlanc, R. & Koch, K. L. (1993). Chinese hyper-susceptibility to vection-induced motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, (9), 827-830.
38. Stoffregen, T. A. & Riccio, G. E. (1991). An ecological critique of the sensory conflict theory of motion sickness. *Ecological Psychology*, 3(3), 15-194.
39. Stone, B. (1993, October/November). Concerns raised about eye strain in VR systems. *Real Time Graphics*, 2(4), 1-3, 6, 13.
40. Thomley, K. E., Kennedy, R. S. & Bittner, A. C. (1986). Development of postural equilibrium tests for examining environmental effects. *Perceptual and Motor Skills*, 63, 555-564.
41. Treisman, M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science*, 197, 493-495.
42. Uliano, K. C., Lambert, E. Y., Kennedy, R. S. & Sheppard, D. J. (1986). The effects of asynchronous visual delays on simulator flight performance and the development of simulator sickness symptomatology (NAVTRASYSCEN 85-D-0026-1). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.
43. Wilson, T. R. (1963). Flicker fusion frequency, age, and intelligence. *Gerontologia*, 7, 200-208.
44. Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D. R. & Cox, P. W. (1977). Field-dependent and field-independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1-64.