Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 24, No. 1 pp.1-7, February 2005

화면 움직임과 Cybersickness의 관계에 관한 연구

박경수* · 최정아* · 김경택* · 김상수*

Relationship between Scene Movements and Cybersickness

Kyung-Soo Park*, Jeong-A Choi*, Kyoung-Taek Kim*, Sang-Soo Kim*

ABSTRACT

This paper investigates the effects of scene movements on cybersickness to develop the guidelines of scene movements in virtual environments. The types of scene movements were made for both scene navigations(through the axes of X: lateral, Y: fore & after, and Z: vertical) and scene rotations(by pitch, roll and yaw). And there were each three levels of speed; 2.7, 4.5 and 6.3°/s(for navigation), and 10, 20 and 30°/s(for rotation) were conducted. Twelve participants were exposed to each scene for 15 minutes, and three tests were performed to measure the degree of sickness. Before and after subjects were exposed to virtual environments, they were requested to describe their sickness symptoms by means of answering the Simulator Sickness Questionnaire(SSQ). And the postural stability tests, in which the Center of Pressure(COP) of subjects were traced and recorded by a 'force platform', were conducted. During the exposure on virtual environments, the subjects were requested to rate the degree of nausea. For both navigation and rotation, the effects of speeds and axes were significant in the SSQ scores and the nausea ratings, while it was not in the COP. The correlation between the SSQ scores and the COP data was not found. Therefore, it was inappropriate to use COP as a measure of cybersickness. The degree of sickness increased, except for the case of the yaw, as the speed increased. The sickness was most severe in the scene navigation through the axis X and in the scene rotation by the yaw.

Keyword: Cybersickness, Scene movement, COP, Simulator sickness questionnaire

1. 서 론

1990년대에 가장 많은 관심을 집중 시켰던 기술은 "Virtual Reality" (VR)라고 할 수 있을 것이다. 이미 게임, 교육, 의료, 건축 등의 다양한 분야에서 가상환경에 대한 연구들이 있으며, 가상환경의 활용에 대한 여러 가지 연구가 발표되고 있다.

하지만 이러한 가상환경의 활용 가능성에도 불구하고 가상환경의 사용이 적극적으로 이루어지지 못하는 한가지 요인으로 Cybersickness를 들 수 있다. Cybersickness를 방지하기 위한 여러 연구가 진행되어 왔으나 아직 구체적인 측정 방법이나 Cybersickness에 영향을 미치는 요인과 요인들 사이의 우선 순위 등 기초적인 연구조차 미흡한 상태에 있다.

가상환경에서의 화면 움직임은 Cybersickness를 야기하며, 특히 화면 움직임의 방향이 Cybersickness의 발생과 정도에 영향을 미치는 것으로 보인다(Kennedy, Drexler & Berbaum, 1994; Howarth, 1998). 하지만 Pitch, Roll,

*KAIST 산업공학과
교신저자: 박경수
주 소: 305-701 대전시 유성구 구성동 373-1, 전화: 042-869-3152, E-mail: kspark@kaist.ac.kr

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

Yaw 축의 화면 움직임 중에서 Cybersickness를 일으키는 주된 축을 알아보려는 연구에서는 만족할만한 결과를 얻지 못했다(Lo & So, 2001).

이에 본 연구는 가상환경에서 Cybersickness를 유발하는 여러 요인 중 하나인 화면 움직임에 대하여, 화면 움직임의 방향, 속도에 따른 Cybersickness를 측정함으로써 화면 움직임 속도와 축이 Cybersickness에 미치는 영향을 알아 보고자 한다.

Cybersickness를 측정하는 Measure로써 대표적으로 사용되고 있는 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ; Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993)와 Nausea Rating, 그리고 무게중심의 변화를 측정하였다. 무게중심의 변화는 Cybersickness를 측정하는 새로운 Measure로써의 가능성을 알아보기 위해 일반적인 Measure인 SSQ와의 상관관계(Kennedy, Berbaum & Lilienthal, 1997; Cobb & Nichols, 1998; Cobb, 1999)를 알아보았다.

2. 실 험

2.1 실험 개요

본 실험에서 사용한 가상환경의 화면 움직임은 축을 중심으로 '이동'과 '회전'의 두 가지 상황으로 나누었다. 그리고 화면 움직임의 방향(X, Y, Z), 회전축(Pitch, Roll, Yaw)과 속도(3수준)를 주요 변수로 하여 실험하였다.

실험 상의 속도 수준은 스크린에 위치하여 움직이는 사물의 이동 각속도로 전환하여 2.7°/s, 4.5°/s, 6.3°/s로 나타내었다. 그리고 회전의 경우는 10°/s, 20°/s, 30°/s로 제작 화면상의 카메라의 각속도를 기준으로 설정하였다.

피실험자들은 화면 이동 또는 회전 별 9가지 화면 움직임 조건 -축(3수준)×속도(3수준)-을 모두 수행하였고, 모든 조건의 실험순서를 랜덤하게 실시하였다.

2.2 피실험자

12명의 남자 대학, 대학원생이 이 실험에 참여하였다. 피실험자의 나이는 22~28세이고, 평균이 25.36세였다. 모든 피실험자는 시각적인 결함이나 고정자세를 취하는데 문제가 없었다. 또한 시뮬레이터 사용 경험이 없고 과거 유사한 실험을 수행한 경험이 없는 피실험자로 선정하였다.

2.3 실험 장치

본 실험에서 사용된 하드웨어는 가상환경 제시를 위한 장비와 실험 전과 후 무게중심의 변화를 측정하기 위한 측정 장비로 나눌 수 있다. 먼저 가상환경을 생성하기 위한 펜티엄III PC와 화면 표시를 위한 스크린(162×122cm), 그리고 ASK COMPACT C6 모델의 프로젝터를 사용하였다. 다음으로 무게중심의 변화를 측정하기 위해서 Force Platform (Kistled Type 9281B)을 사용하였다.

실험에 사용된 가상환경은 KAIST 기계공학과에서 자전거 시뮬레이터에 사용하는 KAIST 캠퍼스 모델을 3D Studio Max로 수정하여 동영상을 제작하였다. 화면의 해상도는 800×600, Frame rate는 초당 30frame으로 Cybersickness에 미치는 영향을 무시할 수 있는 수준(Dizio & Lackner, 1997; So, 1994)으로 설정했다.

화면 움직임 범위는 실제 캠퍼스를 기준으로 이동의 경우는 250m, 회전의 경우는 ±60° (120°)이다. 이로써 제작된 속도와 축에 따라 총 18가지의 화면을 15분 동안 연속해서 보여주게 된다.

아래 그림 1은 실험에 사용된 화면의 예이다.

그림 1. 실험화면 예(Yaw의 경우)

2.4 실험 절차 및 Measure

실험 전에 피실험자들에게 수행하게 될 실험의 목적과 절차, 주의 사항에 대해서 설명하였다. 특히 가상환경 노출 동안 제시되는 화면에 집중해 줄 것과 화면의 특정부위보다는 전 화면에 골고루 시선을 분산시켜 줄 것을 주의시켰다. 5~10분 동안 휴식을 취하며 자세 연습할 시간을 갖도록 했다.

다음으로 가상환경 노출 전 피실험자의 상태를 확인하기 위하여 피실험자들에게 SSQ설문지를 작성하게 하고 무게중심의 변화를 측정하였다.

SSQ(Kennedy et al., 1993)는 총 16개의 증상에 대한 정도를 4점 척도로 묻는 설문지이다. 설문지의 결과는 전체 증상 값과 하위 증상 군 값으로 계산되며, 하위 증상 군 값은 Cybersickness의 대표적인 증상인 Nausea, Oculomotor, Disorientation의 3개의 값으로 나타난다. 전체 증상 값은 전반적인 정도를 종합한 값이고, 하위 증상 군 값은 특정 Sickness의 발생에 대한 진단의 기준으로 사용된다. 이 SSQ 값은 서로 다른 시뮬레이터 간에 Sickness를 상호비

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

교 하는데 사용되는 대표적인 Measure이다.

또한 Cybersickness를 측정하는 정량적인 Measure로 특정 자세 하의 무게중심(COP)의 변화를 관찰하였다. 이는 가상환경 사용시 발생하는 Postural Instability를 관찰하기 위한 것이다(Cobb & Nichols, 1998). 고정 자세에서 실험을 실시하였고, 가상환경 노출 전, 후 모두 30초 동안 실시하였으며, 피실험자가 자세를 유지하는 동안 발생하는 무게중심의 변화를 측정하였다. 아래 그림 2는 피실험자가 COP를 측정을 위해 Force Platform 위에서 고정자세를 취한 모습이다.

그림 2. COP측정

개인별 실험 조건이 일정하도록 실험 시간 및 환경의 변화(소음 및 밝기 등)를 최소화하였다. 또한 피실험자가 피로하여 실험 전 SSQ와 COP값이 이전 실험과 비교하여 20% 이상 차이를 보이는 경우 실험을 중단하고 향후에 테스트를 시행하였다.

가상환경 노출은 15분간 앉은 자세에서 하였는데, 노출 기간 동안 피실험자의 집중과 시선처리에 대한 주의 사항을 피실험자에게 상기시켰으며, 가상환경 노출 시작부터 매 5분 간격으로 총 4번 Nausea Rating을 구두로 질문 하였다.

15분간의 노출 후 자세 테스트를 시행했으며, 그 후에 SSQ 설문지를 작성하도록 하였다. 마지막으로 피실험자들과 실험에 대한 여러 가지 사항을 인터뷰 하였다.

한 가지 조건에서의 실험이 끝난 후에는 최소 하루 이상의 휴식 후, 다음 조건의 실험을 실시하여, 이전 실험의 영향을 최소화 하였다.

3. 결과 및 분석

SSQ값을 Kennedy et al.(1993)의 계산 방법에 따라 전체 증상의 값 (TS-Total Score)과 하위 증상 군 3개의 값(N-Nausea, O-Oculomotor, D-Disorientation)을 도출하였다. 그리고 Nausea Rating의 경우는 7점 척도로 0~6까지의 점수를 사용하였다. 그리고 COP의 경우는 다음과 같이 4가지 종류로 데이터를 분석하였다(Cornelius, Redfern & Steiner, 1994).

COP (Velocity) – COP가 움직이는 속도
COP (X_{rms}) – X방향 변화량의 RMS
COP (Y_{rms}) – Y방향 변화량의 RMS
COP (Area) – COP경로들이 만드는 면적

실험 전후의 SSQ값(전체 증상의 값, 하위 증상 군 값)과 COP값에 대해 피실험자 별 초기상태를 감안하여 실험 전후의 차이값을 구하여 분석하였다.

3.1 SSQ 값 산출

다음 그림 3, 그림 4는 이동과 회전에서 가상환경 노출 전후 SSQ값의 변화를 보여 주는 것으로 노출 전보다 노출 후

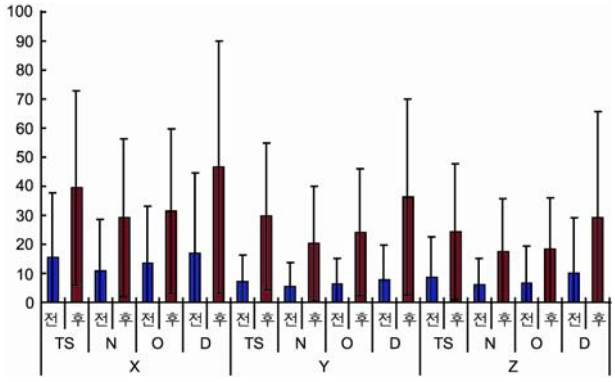

그림 3. 이동 축별 노출 전후의 SSQ 값들의 평균 값과 표준편차

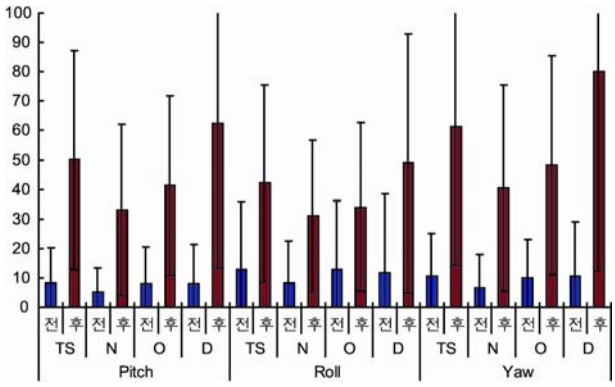

그림 4. 회전 축별 노출 전후의 SSQ 값들의 평균 값과 표준편차

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

의 SSQ 값이 전체 증상과 하위 증상 군 모두 증가하였다. 이로써 가상환경 노출로 Cybersickness가 발생했음을 확인할 수 있었다. 가상환경 노출 전후의 SSQ값의 차이를 구해보면, 전체 증상 값의 평균이 이동의 경우 20.1, 회전의 경우 46.0으로 Kennedy & Stanney(1997)의 일반적인 시뮬레이터의 Cybersickness 범위인 19~55의 구간에 해당된다.

그리고 하위 증상 군의 SSQ 값의 차이는 이동, 회전 모두 SSQ값이 Disorientation > Oculomotor > Nausea인 결과가 나타났다.

3.2 축과 Cybersickness의 관계

축이 Cybersickness에 미치는 영향을 확인하기 위한 각 Measure별 분산분석 결과는 표 1과 같다.

표 1. 축이 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F	
	이동	회전
SSQ	0.0144*	0.0273*
Nausea Rating	<.0001*	<.0001*
COP(Velocity)	0.6364	0.9184
COP(X_{rms})	0.7592	0.8221
COP(Y_{rms})	0.3033	0.8311
COP(Area)	0.3575	0.9741

SSQ와 Nausea Rating 값에서는 이동과 회전 모두에서 축이 Cybersickness에 유의한 요인임이 나타났으나, COP 값에서는 유의하지 않았다. 또한 SSQ의 하위 증상 군 값 모두에서도 축이 Cybersickness에 유의한 요인임을 확인할 수 있었다.

다음으로 본 실험에서 사용한 3가지 속도 수준별 축의 영향은, 다음 표 2, 표 3의 분산분석 결과와 같이 이동에서는 6.3°/s 속도 수준에서, 회전에서는 20°/s, 30°/s 속도 수준에서 유의한 결과를 도출했다. 이것은 속도가 일정 수준 이상이 되지 않으면 축간 차이가 발생하지 않는다는 것을 뜻한다.

Lo & So(2001)의 연구에서는 화면 움직임 속도 30°/s에서 축간의 차이가 나타나지 않은데 반해, 본 연구에서는 30°/s에서는 축간의 영향이 나타났다. 이는 두 실험 환경의 차이로 화면 움직임 각속도는 같으나 화면의 복잡도와 움직임으로 발생되는 화면 복잡도의 변화가 서로 다르기 때문이다.

표 2. 이동의 경우, 속도 수준별 축이 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F		
	2.7°/s	4.5°/s	6.3°/s
SSQ	0.1987	0.1989	0.0295*
Nausea Rating	0.7114	0.1142	<.0001*
COP(Velocity)	0.2482	0.6383	0.2692
COP(X_{rms})	0.6459	0.3904	0.4287
COP(Y_{rms})	0.4536	0.2292	0.2195
COP(Area)	0.4958	0.2080	0.4509

표 3. 회전의 경우, 속도 수준별 축이 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F		
	10°/s	20°/s	30°/s
SSQ	0.8073	0.1907	0.0329*
Nausea Rating	0.7306	0.0155*	0.0009*
COP(Velocity)	0.2292	0.8217	0.5914
COP(X_{rms})	0.1412	0.3923	0.7473
COP(Y_{rms})	0.1581	0.2416	0.8776
COP(Area)	0.2193	0.4173	0.9716

그리고 다음 그림 5, 그림 6과 같이 Duncan Grouping을 실시하여 축에 따른 Cybersickness의 정도를 확인하였는데, SSQ에서는 이동의 경우는 X > Z, 회전의 경우는 Roll < Yaw으로 결과가 나타났다. 또한 Nausea Rating에서는 X > Y > Z, Roll < Pitch ≅ Yaw인 결과를 도출했다.

그리고 Cybersickness를 일으키는 지배적인 축은 이동의 경우는 X축, 회전의 경우는 Yaw축으로 나타났다.

3.3 속도와 Cybersickness의 관계

속도별 Cybersickness의 영향을 알아보기 위해서 이동/

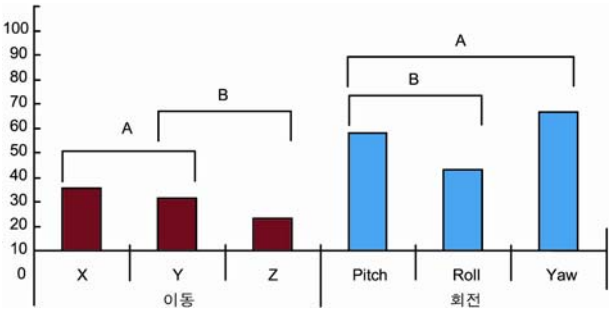

그림 5. 축의 SSQ Duncan Grouping 결과

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

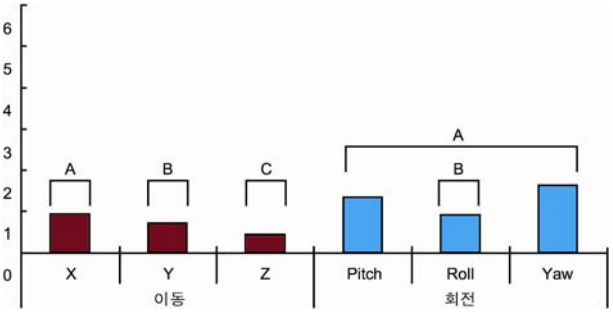

그림 6. 축의 Nausea Rating Duncan Grouping 결과

회전별, 축별 가상환경 노출 전후의 SSQ차이 값을 비교하면 아래 그림 7과 같이 속도가 증가함에 따라 Cybersickness가 증가한다.

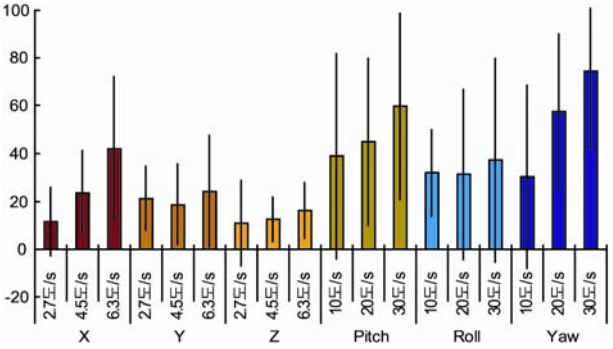

그림 7. 축별 SSQ 노출 전후 차이 값의 속도에 따른 Cybersi-ckness 변화

그리고 속도가 Cybersickness에 미치는 영향을 확인하기 위한 각 Measure별 분산분석결과는 표 4와 같다.

표 4. 속도가 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F	
	이동	회전
SSQ	0.0098*	0.0119*
Nausea Rating	0.0014*	<.0001*
COP(Velocity)	0.1951	0.3461
COP(X_{rms})	0.8341	0.2951
COP(Y_{rms})	0.9265	0.1943
COP(Area)	0.6636	0.3866

SSQ와 Nausea Rating에서는 속도가 Cybersickness에 유의한 요인으로 나타났으나, COP에서는 유의하지 않았다. 하지만 SSQ와 Nausea Rating의 결과를 볼 때 속도가 Cybersickness에 유의한 요인이라고 말할 수 있다. SSQ의 하위 증상 군에서도 유사한 결과를 보였다.

다음으로, 축별 속도의 영향을 확인하기 위한 분산 분석 결과는 아래 표 5, 표 6과 같다.

표 5. 이동의 경우, 축별 속도가 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F		
	X	Y	Z
SSQ	0.0063*	0.7525	0.6183
Nausea Rating	0.0003*	0.2357	0.7365
COP(Velocity)	0.9671	0.0812	0.4708
COP(X_{rms})	0.5691	0.2274	0.8182
COP(Y_{rms})	0.3113	0.2385	0.8967
COP(Area)	0.4483	0.2255	0.7509

표 6. 회전의 경우, 축별 속도가 Cybersickness에 미치는 영향

Measure	Pr > F		
	Pitch	Roll	Yaw
SSQ	0.4118	0.8942	0.0059*
Nausea Rating	0.0284*	0.5231	0.0018*
COP(Velocity)	0.9428	0.1073	0.5772
COP(X_{rms})	0.6587	0.1220	0.3008
COP(Y_{rms})	0.4770	0.1799	0.2283
COP(Area)	0.6616	0.2416	0.2983

이동에서는 X축에서, 회전에서는 Pitch와 Yaw축에서 유의한 결과를 도출했다. 이것은 축에 따라서 속도의 영향이 다르며, X축, Pitch와 Yaw축에서는 속도의 영향을 받지만, 그 외의 축에서는 속도의 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다.

Duncan Grouping 결과는 다음 그림 8, 그림 9와 같이 SSQ에서는 이동의 경우 2.7°/s ≅ 4.5°/s < 6.3°/s, 회전의 경우 10°/s < 30°/s이며. Nausea Rating에서는 이동의 경우 2.7°/s ≅ 4.5°/s < 6.3°/s, 회전의 경우 10°/s < 20°/s ≅ 30°/s인 결과가 나타났다.

이동에서의 이동방향과 이동속도, 회전에서의 회전축과 회전속도에 대한 교호작용의 분산분석을 실시한 결과, 이들이 Cybersickness에 미치는 영향은 유의하지 않았다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

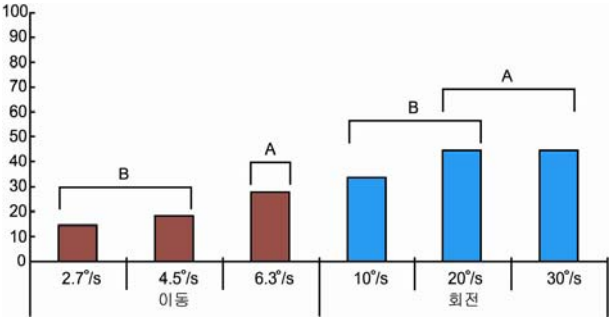

그림 8. 속도의 SSQ Duncan Grouping 결과

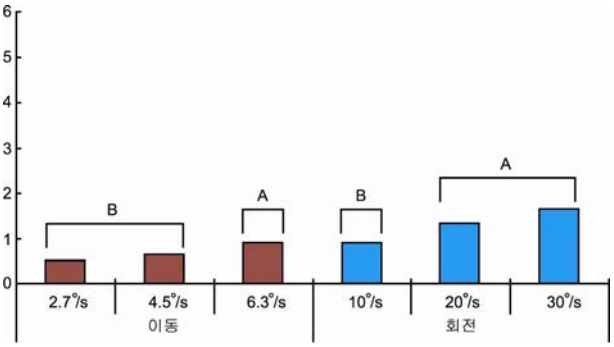

그림 9. 속도의 Nausea Rating Duncan Grouping 결과

3.4 SSQ와 COP의 관계

앞에서 살펴본 바와 같이 본 실험에서 SSQ와 Nausea Rating에서는 가상환경 노출 전후의 차이 값이 0보다 크므로 Cybersickness의 발생을 예측할 수 있지만, COP의 경우에는 노출 후 오히려 COP가 작아진 경우가 발생했다. 그러므로 본 실험 조건에서는 자세테스트 COP의 값이 SSQ와 Nausea Rating에서와 같이 화면 움직임 속도와 축에 따른 Cybersickness의 영향을 보여주지 못하였다.

그리고 가상환경 노출 전 데이터, 노출 후 데이터, 노출 전후 차이 값 데이터의 상관 분석 결과에서 모두 SSQ와 COP 값 사이에 상관 계수가 매우 낮아 SSQ와 COP 사이의 상관관계를 설명할 수 없었다. 그러므로 본 실험 결과는 COP는 Cybersickness를 예측하기 위한 Measure로 부적합함을 의미한다.

4. 결론 및 추후 연구

본 연구 결과들은 가상환경 구현 시 화면 움직임이 포함된 가상환경을 설계할 때, 화면 움직임 속도와 축이 Cybersickness에 미치는 영향을 고려하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 예를 들어, 본 실험에서와 같이 사용자와 가상환경 간의 Interaction이 없는 시뮬레이션의 경우나, 마우스나 조이스틱을 사용하여 단순 제어를 하는 경우 본 연구 결과를 적용하여 가상환경을 설계한다면 Cybersickness를 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

예를 들어, Head Tracker를 사용하지 않는 Screen 방식에서 화면 움직임 포함된 가상환경을 제작할 경우에 Cybersickness의 주요인 축인 X축과 Yaw축의 화면 움직임을 최소화 하도록 가상환경을 설계하면 Cybersickness를 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 각 축별로 나온 화면 움직임 속도에 대한 Threshold를 화면 움직임 속도의 기준으로 할 경우도 Cybersickness를 감소시킬 수 있을 것이다. 물론 여러 가지 가상환경의 조건에 따라서 본 실험에서 Cybersickness의 주요인인 속도나 축이 포함될 수 밖에 없는 경우도 있을 것이다. 이런 경우에 본 연구 결과인 속도와 축과의 관계를 이용하여 속도와 축으로 야기되는 Cybersickness를 감소시킬 수 있다.

추후 연구 과제는 다음과 같다. 먼저 가상환경의 화면 움직임과 관련된 여러 요인 중에서 본 연구에서 사용된 속도와 축 이외의 요인이 Cybersickness에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 예를 들면, 가상환경을 구성하는 전체 물체들의 움직임 변화량과 Cybersickness의 관계, 피실험자와 가상환경 물체들 간의 거리와 Cybersickness의 관계, 화면의 복잡도와 Cybersickness의 관계 등에 대한 연구가 필요하다. 본 실험에서 Lo & So(2001)의 연구와 같은 화면 움직임 속도인 30°/s에서 화면 복잡도의 차이 때문에 상반된 결과가 도출되었다. 그러므로 Cybersickness를 발생하는 화면 움직임 요인을 찾고 이 요인들의 효과를 규명하여 Cybersickness를 최소화하는 방법을 찾아야 한다.

그리고 Cybersickness를 측정하는 계량적 Measure에 대한 연구가 필요하다. Cybersickness 측정에 대표적으로 사용되는 Measure는 설문지 중심의 SSQ로 사람마다 느끼는 정도가 달라 객관적인 데이터를 얻을 수 없다. 그러므로 본 실험에서 사용한 COP와 같은 정량적인 Measure를 찾는 연구가 필요하다.

참고 문헌

Cobb, S.V.G., Measurement of postural stability before and after immersion in a virtual environment. *Applied Ergonomics*, 30, 47-57, 1999.

Cobb, S.V.G. and Nichols, S.C., Static posture tests for the assessment of postural instability after virtual environment use. *Brain Research*

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

Bulletin, 47(5), 459-464, 1998.

Cornelius, K.M., Redfern, M.S. and Steiner, L.J., Postural stability after whole-body vibration exposure. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13, 343-351, 1994.

Dizio, P. and Lackner, J.R., Circumventing side effects of immersive virtual environments. *Proceeding of the 7th International Conference on Human-Computer Interaction*, 24-29 August, San Francisco, CA. 1997.

Ehrlich, J.A. and Kolasinski, E.M., A comparison of sickness symptoms between dropout and finishing participants in virtual environment studies. *Proceedings of 42nd Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 5-9, October, Chicago, USA, 1466-1470, 1998.

Howarth, P.A., The occurrence of symptoms during immersion in virtual reality. Paper submitted, 1998.

Kennedy, R.S., Berbaum, K.S. and Lilienthal, M.G., Disorientation and postural ataxia following flight simulation. *Aviation, Space Environ. Med*, 68(1), 13-17, 1997.

Kennedy, R.S. and Stanney, K.M., Aftereffects of virtual environment exposure: psychometric issues. *Proceeding of the 7th HCI International*. 24-29, August San Francisco, CA, 1997.

Kennedy, R.S., Drexler, J.M. and Berbaum, K.S., Methodological and measurement issues for identification of engineering features contributing to virtual reality sickness. *Proceedings of the IMAGE VII Conference*, Tucson, Arizona 12-17 June 1994.

Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. and Lilienthal, M.G., Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): a new method for quantifying simulator sickness. *Int. J. Aviat. Psychol*, 3(3), 203-220, 1993.

Lo, W.T. and So, R.H.Y., Cybersickness in the presence of scene rotational movements along different axes. *Applied Ergonomics*, 32, 1-14, 2001.

McCauley, M.E. and Sharkey, T.J., Cybersickness: perception of self-motion in virtual environments. *Presence*, 1(3), 311-318, 1992.

So, R.H.Y., An investigation of the effects of lags on motion sickness with a head-coupled visual display. *Proceedings of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration held at the Institute of Naval Medicine*, Alverstoke, Gosport, Hants, PO12 2DL, 19-21 September 1994.

Stanney, K.M. and Salvendy, G., 25 other authors, Aftereffects and sense of presence in virtual environments: formulation of a research and development agenda. Int. *J. Hum.-Compu. Interaction* 10, 135-187, 1998.

◐저자 소개◑

❖ Kyung-Soo Park ❖

He received the B.S. degree in Mineral & Petroleum Engineering from Seoul National Univ. in 1965, the M.S. degree in Industrial & Systems Engineering from Univ. of Florida in 1969, and the Ph.D. degree in Industrial & Operations Engineering from Univ. of Michigan in 1973, respectively. Since 1981, he has been with the department of industrial engineering at Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

❖ Jeong-A Choi ❖

She is a Ph.D. student of Industrial Engineering at KAIST. She received the B.S. degree in Industrial Design from KAIST and M.S. degree in Industrial Engineering from KAIST.

❖ Kyoung-Taek Kim ❖

He is a Ph.D. student of Industrial Engineering at KAIST. He received the B.S. and M.S. degrees in Industrial Engineering from KAIST.

❖ Sang-Soo Kim ❖

He is a Ph.D. student of Industrial Engineering at KAIST. He received the B.S. degree in Computer Science from KAIST and M.S. degree in Industrial Engineering from KAIST.

논 문 접 수 일(Date Received) : 2004년 08월 21일

논문게재승인일(Date Acepted) : 2004년 09월 16일

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.