

HMD 기반 가상현실 자전거의 영상피로 분석

김선욱¹, 한승조^{2*}, 구교찬¹
¹단국대학교 산업공학과, ²국방과학연구소

Analysis of Display Fatigue induced by HMD-based Virtual Reality Bicycle

Sun-Uk Kim¹, Seung Jo Han^{2*}, Kyo-Chan Koo¹

¹Department of Industrial Engineering, Dankook University

²Agency for Defense Development

요약 본 논문의 목적은 자전거를 사용할 경우 제시되는 2D 영상과 비교하여 HMD기반의 3D VR 영상 유발하는 영상피로를 정성적으로 분석하는 것이다. 2D에 비해 3D 영상이 더 많은 영상피로를 유발할 것이라고 일반적으로 알려져 있었지만, 과학적으로 영상피로를 측정하고자 하는 연구는 많지 않았다. 20명의 20대 남·여가 2D와 HMD 기반의 3D VR 영상을 자전거 페달을 밟으면서 5분간 경험한 후, 경험 전과 후의 사이버 멀미(Cybersickness)와 Flicker Fusion Frequency(FFF)가 측정되었다. 경험 전과 후의 두 종속변수를 비교함으로써 정량적으로 3D VR 영상이 2D에 비해 어느 정도 영상피로를 발생시키는지를 이론적 고찰과 함께 과학적인 기기와 방법으로 측정하였다. 주관적인 척도인 사이버 멀미 증가는 2D에 비해서 3D VR 영상에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, FFF 감소율도 3D VR 영상이 2D에 비해 높은 결과를 보였다. 본 연구는 VR 기술이 운동기구 등에 접목됨에 따라 일반적으로 3D VR 영상이 2D 영상에 비해 영상피로를 크게 유발함을 과학적인 방법과 객관적인 데이터로 증명했다는 데 의의가 있다.

Abstract The purpose of this study is to investigate the display fatigue quantitatively when operating 2D and HMD-based 3D VR bicycles. Though it is generally accepted that the display fatigue induced by 3D VR is greater than that induced by 2D VR, there have been few studies which attempted to measure the display fatigue scientifically. The subjective degree of cybersickness and quantitative flicker fusion frequency (FFF) were measured in twenty subjects (Male 10, Female 10) before and after they operated 2D and 3D VR bicycles for 5 min. Two dependent variables affected by the 2D and 3D VR displays were analyzed and compared statistically based on scientific evidence and research. This study showed that 3D VR resulted in a significantly higher cybersickness rate and a significant lower FFF rate than 2D VR. Given the current propensity to couple VR techniques with exercise equipment, it seems appropriate to verify the general beliefs through scientific methods and experimental measures such as the FFF and cybersickness questionnaires.

Keywords : Cybersickness, Display fatigue, Flicker fusion frequency, HMD, Virtual reality

1. 서론

환경이나 상황과 상호작용하고 있는 것처럼 느끼게 하는 컴퓨터와 인간의 인터페이스로 정의한다[1].

VR(Virtual Reality; VR)은 컴퓨터로 만들어진 인공 환경이나 상황을 운용자에게 제시하여 이들이 실제

최근 국내외적으로 VR은 증강현실(Augmented

본 논문은 2016년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(R0115-15-1003, 실감형 VR MTB 게임 및 연동 5D 시뮬레이터 개발)

*Corresponding Author : Seung Jo Han(Agency for Defense Development)

Tel: +82-42-821-4284 email: seungjo1651@add.re.kr

Received January 31, 2017

Revised March 6, 2017

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

Reality; AR)과 함께 ICT와 연관된 차세대 핵심기술로 각광을 받고 있는 과학기술의 한 분야이다. 영국의 시장 조사 전문기관인 Digi-Capital에서는 세계 VR 시장이 2016년 50억 달러에서 2020년에는 1,500억 달러로 30 배 가량 확대될 것이라고 예상하고 있으며, 대만의 시장 조사 기관인 TrendForce사의 Jason Tsai 애널리스트도 기술수준의 급격한 발달과 Facebook, YouTube 등 Social Media의 도움으로 세계 VR 시장이 2016년 67억 달러에서 2020년에는 700억 달러로 급격히 증가될 것으로 분석하고 있다[2]. 분석기관마다 다른 기준으로 시장 조사를 수행하여 예상치는 상이하지만, 분명한 것은 미래에 VR 기술은 ICT의 핵심적인 영역으로 자리매김한다는 것이다. 미국의 ICT분야 리서치 업체 중 하나인 Gartner사가 2015년도에 발표한 자료에 따르면 “VR 기술은 2017년을 이끌어갈 10대 전략 기술 트렌드에 포함된다”[3]고 한 바와 같이 위의 VR 기술의 전망은 국가 ICT 분야의 우열을 가릴 정도의 핵심지표로 이용될 수도 있다.

VR이나 AR의 경우 현재와 전망치 분석 시 주로 HW 및 SW분야의 발전을 다루고 있고, 지금까지의 학술자료나 제품의 경우도 현실세계와 유사한 환경을 구현하는 방향으로 진행되고 있는 실정이다. 하지만 VR 및 AR은 최종적으로 인간이 활용을 하게 되며, 인간에 적용 시 발생될 수 있는 신체적, 정신적 영향도 간과할 수 없는 학문적 분야이다. 애니메이션 기술이 발전함에 따라 시청자가 영상에 몰입하는 정도가 높아지게 되었고 이에 따른 부작용도 종종 보고되고 있다. 일례로 1990년대 후반 일본에서는 약 700명의 어린이가 포켓몬스터 애니메이션을 시청하는 도중에 구토, 두통, 발작 증세를 일으켜 사회적 파장을 일으킨 경우도 있다[4]. 즉, 시스템공학의 4M(Man, Machine, Method, Material) 개념을 근거로 Machine과 Man과의 인터페이스 분야도 발전되어야 할 분야임에는 틀림이 없다. 제조업체의 관점에서 휴대용 PC나 스마트 폰의 경우 기술적 차이는 크지 않지만 사용자 편의성이나 디자인으로 인해 매출에 큰 차이가 발생하는 경우가 있다. 시스템이 완전하기 위해서는 핵심 기술과 함께 인간과 시스템이 원활하게 상호작용하는 것도 중요하다.

본 연구에서는 실내 운동 및 레저용 자전거를 운용자가 사용할 경우 제시되는 2D 영상(Monitor)과 VR 영상(Head Mounted Display; HMD)으로 유발되는 신체적

영향을 Cybersickness와 정신적 피로 분야에서 정량적으로 실험을 통해 비교하고, VR 영상으로부터 발생하는 문제점을 경감할 수 있는 방안을 개념적으로 제시하는데 있다.

2. 본론

2.1 관련 연구

2.1.1 영상피로

영상피로(Display Fatigue)는 영상을 접하는 운용자가 안구통증, 이중상의 경험과 같은 시각적 피로 외에도 두통이나 멀미 등을 유발하는 인자로써, 작게는 운용자에 신체적인 악영향을 주기도 하지만 원전조작/감시나 군 무기체계 운용상에 심각한 인적오류(Human Error)로 발전될 수도 있다[5,6]. 일상생활에서도 2D 영화보다 입체감 있는 3D를 포함한 VR 영화를 압도적으로 선호하지 않는 현상이나 가정의 3D TV의 보급이 기존 2D TV를 완전히 대체하지 않는 경우도 이러한 영상피로와 일부 연관이 있다.

영상피로는 2D 화면보다는 3D 혹은 VR 화면에서 더 크게 느껴진다고 보고되고 있으며, 이러한 원인은 다양한 원인이 있지만 크게 안구(Eyes)가 상(Image)을 융합하는 구조/절차상의 특성과 만들어지는 혹은 만들어진 상을 뇌에서 처리하게 되는 뇌의 특성으로 구분될 수 있다.

인간이 영상의 입체감을 느끼는 것은 좌안과 우안에 각기 다른 상이 맺힌 후 뇌에서 융합하는 과정에서 발생한다[7]. 2D 영상은 두 눈이 인지하는 상이 실제 스크린 화면과 일치하지만, 3D 영상은 인지하는 상이 스크린 뒤쪽에 위치하고 좌안과 우안이 인지하는 상도 동일하지 않다[7,8]. 따라서 2D보다 3D에서 수정체의 두께를 변화시켜 초점을 맞추려는 조절능력의 불균형(Disparity of Accommodation)과 양안을 중앙으로 약간 모이게 하여 1개의 상으로 만들려는 폭주능력의 불균형(Disparity of Convergence)이 크게 발생하여 영상피로가 발생한다.

또한 뇌 기능의 정보융합 측면에서 자원이론(Resource Theory)과 연관이 되어 있다. 즉, 뇌가 정보를 처리하는 능력이 정해져 있지만, 더 많은 정보가 처리되어야 한다면 과부하를 유발시켜 인지피로 등 영상피로를 유발한다는 것이다[5]. 단순하게 2D 영상은 하나의 영상

이 동일하게 양안으로 유입되지만, 3D 영상은 동일하지 않은 영상이 좌안과 우안에 서로 유입되고 이를 처리하는 뇌에서는 더 많은 노력이 필요로 하게 된다.

2.1.2 영상피로 측정

눈의 피로이자 시각정보를 담당하는 대뇌 피질(Cortex)의 피로인 영상피로를 측정하는 방법은 EEG나 fMRI를 이용하거나 안구 수분 및 심박수 측정, 주관적 설문 등 다양하다.

여기서 실험자 개인별로 느끼는 주관적인 영상피로와 관련하여 사이버 멀미(Cybersickness)를 측정할 수 있는 질문지가 이용될 수 있는데, Table 1과 같이 메스꺼움(Nausea, A), 안구 불편(Oculomotor discomfort, B), 방향감각 저하(Disorientation, C)로 구성된 설문에 주관적 판단에 따라 피실험자가 체크할 수 있도록 되어 있다 [5,9]. 각 문항에 대해 “그렇다”, “약간 그렇다”, “보통이다”, “심하다”에 대해 각각 0, 1, 2, 3점을 부여하도록 되어 있다.

Table 1. Cybersickness Questionnaire Example

Contents	Response*	CriteriaT
Overall discomfort	1	A,B
Overall Fatigue	2	B
Headache	0	B
Eye fatigue	1	B
Trouble of eye focus	3	B,C
Increase of saliva	2	A
Sweating	0	A
Nauseous	1	A
Trouble of mind focus	1	A,B,C
Feeling dull in the head	1	C
Murky sight	2	B,C
Feeling somewhat dizzy when opening eyes	0	C
Feeling somewhat dizziness when closing eyes	2	C
Overall dizziness	3	C
Burden to stomach	1	A
Belching	0	A
A	6	
B	10	
C	12	
Score	6×9.54+10×7.58+12×13.92 = 300.08	

* Random values for example

T Weights for each criteria (A:9.54, B:7.58, C:13.92)

예를 들어 Table 1을 기준으로 주어진 영상을 시청한 후 임의로 0-3까지의 임의의 값이 체크되어 있다면, 전

체 사이버 멀미 값은 300.08로 구할 수 있다. 여기서 주의할 점은 계산된 값은 개인별로 다르기 때문에 피실험자에게 주어진 다수의 자극을 비교하거나, 하나의 자극에 대해 자극 부여 전/후를 비교하는 척도로만 사용되어야만 한다는 것이다.

또한 Fig. 1과 같은 점멸융합주파수 측정기(Flicker Fusion Frequency Tester; FFFT)를 사용하여 시각적 피로와 관련한 영상피로를 측정할 수 있다. 점멸융합주파수(FFF)는 이산적인 시각 자극이 점멸하지 않고 연속으로 느껴질 때의 주파수를 말하며 시각이나 정신적 피로의 척도로 많이 사용되고 있다[11,12].

눈이나 대뇌가 피로해지면 정상적인 정보처리 능력이 떨어지기 때문에 더 낮은 FFF가 나타나며, 자극 부여 전의 주파수와 부여 후의 주파수 차이가 시각적 자극이 발생시키는 스트레스의 양이다. 개인마다 자극 부여 전/후의 주파수는 다르기 때문에 반드시 정규화(Normalization) 과정이 필요하다[11].



Fig. 1. Flicker Fusion Frequency Tester(FFFT)

2.2 연구방법

2.2.1 연구대상 및 실험방법

피실험자는 20대 대학생 20명(남성 10, 여성 10)이 선정되었고, 평균나이 22.58(±1.61)로 실험 당일 시각적인 상태를 포함한 전반적인 신체적 건강상태가 양호하였다.

실험에 사용된 장치는 Fig. 2에서와 같이 동일한 자전거 주행화면이 주어지지만, VR 화면은 실험자가 HMD를 착용하여 입체감을 느낄 수 있도록 하였다.

HMD를 이용하여 VR 영상을 만들어내는 기술은 Fig. 2의 우측과 같이 화상 두 개를 동시에 띄워서 좌안과 우안으로 보내는 설계를 통해 입체시(Stereopsis)를 느끼게 하는 것이다. 크지 않은 장치로 화면을 크게 보이게 만들 수 있으며 해상도가 저하되지 않고 시야각에도 제약이 적다. 또한 몰입감이 여타 3D 화면에 비해 크다는 장점



Fig. 2. VR bicycle device designed for experiment (Left : 2D, Right : HMD-based VR)

도 있지만, 무게감이 있는 장치를 안면에 장착해야 한다는 점과 화면이 2D에 비해 상당히 눈 앞에 위치하여 발생하는 영상피로 문제도 크다고 연구되고 있다[12].

2D와 VR 자전거 참여 실험에서 각각의 피실험자에게는 “Cybersickness 질문지 작성(전) - FFF 측정(전, 상/하향) - 5분 동안 운용 - FFF 측정(후, 상/하향) - Cybersickness 질문지 작성(후)”의 절차가 주어졌다. 2D 자전거와 VR 자전거의 Task 사이에는 학습효과(Learning Effect)[6,13]에 의한 영향을 줄이기 위해 10분 정도의 휴식시간이 주어졌다. 또한 자전거를 운용하는 육체적인 활동에 의한 영상피로 영향을 최소화시키기 위해 Task 수행 전에 각각의 Task에서 동일한 수준의 속도를 발생시키도록 주지시켰다.

2.2.2 분석방법

독립변수(Independent Variable)는 2수준으로 성별(Gender)과 영상 Type(2D vs. VR)이었으며, 사이버 멀미와 관련 종속변수(Dependent Variable)는 증가율(Increase Rate)로 {(After-Before)/Before}로 계산되며, FFF 관련 종속변수는 시칭 후에는 주파수가 통상 감소되므로(피로가 쌓이므로) FFF 감소율(Reduction Rate)로써 {(Before - After)/Before}로 계산되었다.

단, FFFT를 이용하여 측정할 경우 FFF는 주파수를 점차 높이는 경우(상향식, Bottom-up)와 낮추는 경우(하향식, Top-down)의 두 번을 측정하고 평균하여 최종 FFF를 결정하였다. 낮은 FFF는 높은 영상피로를 발생시킨다고 해석한다[5].

2.3 실험 결과

2.3.1 Cybersickness

Table 2는 위에서 설명한 종속변수를 기준으로 사이

버 멀미 설문에 대한 분석결과를 나타내고 있다. Table 2를 이용하여 두 개의 독립변수(Gender, Type)가 종속변수(Increase Rate)에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는지 알아보기 위해 반복있는 이원분산분석(ANOVA)[6,13]을 Table 3과 같이 유의수준 0.05를 기준으로 실시하였다.

Table 2. Experimental Results related with Cybersickness

Variables	Cybersickness Increase Rate	
	2D	3D VR
Male	2.52	20.18
	6.51	20.99
	6.39	17.44
	5.53	10.40
	2.31	7.23
	0.38	3.37
	2.05	12.13
	0.55	1.01
	4.63	10.46
	0.59	2.49
	Ave. 3.15	Ave. 10.57
	S.D. 2.43	S.D. 7.23
Female	1.00	3.69
	0.55	4.64
	1.55	3.61
	0.86	1.43
	0.10	2.10
	0.97	2.82
	0.33	3.90
	0.87	4.30
	0.12	1.33
	0.70	1.94
	Ave. 0.70	Ave. 2.98
	S.D. 0.45	S.D. 1.21

Table 3에서와 같이 사이버 멀미 증가율에서는 성별, 영상 Type, 그리고 상호작용(Gender*Type)이 종속변수에 유의수준(α) 0.05에서 유의하게 영향을 미쳤다($P < 0.05$). 또한, Post-Hoc Test를 위해 Pairwise t-Test를 실행한 결과, 영상 Type은 남성과 여성 모두에서 사이버 멀미에서 유의하게 차이가 나타났다($P < 0.05$).

Table 3. ANOVA Result

Sources	DF	SS	MS	F	P
Gender	1	251.89	251.89	16.85	0.0002*
Type	1	235.00	235.00	15.72	0.0003*
Gender*Type	1	66.37	66.37	4.44	0.0422*
Residuals	36	14.95	14.95	-	-
Total	39	-	-	-	-

* P-value < 0.05

2.3.2 Flicker Fusion Frequency

Table 4는 설명한 FFF 감소율을 기준으로 FFF 테스트 분석결과를 나타내고 있다.

Table 4. Experimental Results related with Flicker Fusion Frequency

Variables	Flicker Fusion Frequency Decrease Rate	
	2D	3D VR
Male	0.043	0.058
	0.016	0.079
	0.029	0.072
	0.023	0.076
	0.000	0.027
	0.077	0.090
	0.069	0.083
	0.026	0.079
	0.026	0.079
	0.029	0.044
	Ave. 0.040	Ave. 0.069
S.D. 0.023	S.D. 0.020	
Female	0.000	0.015
	0.015	0.045
	0.068	0.068
	0.030	0.060
	0.042	0.069
	0.030	0.090
	0.013	0.039
	0.000	0.016
	0.044	0.015
	0.063	0.063
	Ave. 0.030	Ave. 0.048
S.D. 0.024	S.D. 0.026	

Table 4를 이용하여 두 개의 독립변수(Gender, Type)가 종속변수(Decrease Rate)에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는지 알아보기 위해 반복있는 이원분산분석(ANOVA)[14]을 Table 5와 같이 유의수준 0.05를 기준으로 수행하였다.

Table 5에서와 같이 FFF 감소율에서 성별과 상호작용(Gender*Type)은 종속변수에 유의수준(α) 0.05에서 유의하게 영향을 미치지 않았지만($P>0.05$), 영상 타입은 유의하게 영향을 미치는 요인으로 작용하였다($P<0.05$).

Table 5. ANOVA Result

Sources	DF	SS	MS	F	P
Gender	1	0.0015	0.0015	2.6462	0.1125
Type	1	0.0067	0.0067	12.4129	0.0012*
Gender*Type	1	0.0007	0.0007	1.3386	0.2549
Residuals	36	0.0199	0.0006	-	-
Total	39	-	-	-	-

* P-value < 0.05

또한, Pairwise t-Test를 실행한 결과, 영상 Type은 남성과 여성 모두에서 FFF 감소율에서 유의하게 차이가 나타났다($P<0.05$). 여기서 사이버 멀미의 종속변수는 증가율이지만, FFF에서는 감소율에 유의할 필요가 있다. 즉 작은 FFF는 더 큰 영상피로를 의미하기 때문에 감소율이 커진다는 것은 그만큼 상대적으로 영상피로가 커진다는 의미로 해석해야 한다.

3. 연구결과 및 고찰

영상피로를 측정하는 방법으로 피실험자의 주관적인 답변을 요구하는 16개 항목으로 구성된 사이버 멀미 관련 질문지를 분석하였고, 시각 및 뇌 부하를 측정하기 위해 FFT를 이용하여 FFF를 분석하였다.

두 측정에서 모두 2D 영상보다는 VR 영상이 피실험자에게 영상피로를 크게 만들었으며, FFF는 성별에 대한 차이가 없었으나, 사이버 멀미에서는 남성이 여성보다 더 큰 영상피로를 느끼는 것으로 나타났다.

첫째, VR 영상이 2D 영상보다 영상피로를 크게 유발하는 것은 다음의 연구자료를 기반으로 원인을 설명할 수 있다. VR 영상은 2D 영상보다 많은 이미지를 포함하기 때문에 상대적으로 VR 영상을 접하는 뇌에서 인식하는 방식도 복잡할 수 밖에 없다. VR 영상은 초당 화면 전환 속도 또한 2D 영상보다 빠르며, 대부분의 VR 영상은 240Hz의 범위를 지니, 2D가 120Hz의 범위를 지닌 것에 비해 2배 이상의 영상 정보가 눈과 뇌에 전달된다 [15]. 게임이나 실내 체육 사업에서 VR의 이용이 대중화되고 있고 관련된 연구도 다양하게 이루어지고 있다. 2D와 3D 게임을 수행한 피실험자들의 EEG를 비교한 실험 [16]에 따르면, 3D 시청시가 2D 시청시보다 높은 진폭대의 베타파(β)가 관측되었으며, 이러한 결과는 권상희, 방은영(2012)의 연구결과[15]와도 일치한다. EEG의 베타파는 사고력을 요구하는 전두엽과 측두엽에서 주로 나타나며 뇌의 부하를 분석하는데 많이 이용된다. 이는 초당 화면 전환 속도와 이를 정보 처리하는 뇌 부하 관점에서 3D가 2D보다 높기 때문이다.

또한 권준기 등(2012)은 두 영상시청 전/후의 눈의 피로도도와 눈물 막 파괴시간, 안구표면 온도변화 등을 비교한 실험을 실시하였고, 결과적으로 3D가 눈의 피로도도와 두통, 집중력 저하 정도가 높게 나타났다[15]. 이러한 결

과는 윤정호 등의 연구결과(2012)와도 일치하는데, 3D가 2D에 비해서 눈부심, 복시, 흐림, 어지럼증이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다[20]. 이러한 결과를 발생시키는 원인은 앞에서 설명한 정보 처리량의 차이 외에도 초점거리와 상이 맺히는 거리의 불일치, 눈의 조절 및 모임 능력의 저하가 3D에서 크게 나타나기 때문으로 분석되었다.

둘째, 성별에서 남성이 여성보다 더 큰 주관적인 영상피로를 느끼는 것으로 나타났다. 여성보다 남성의 평균 정도가 과감한 것에도 기인하지만, 이재식과 박동진의 연구(2010)[17]에도 이러한 현상 실험적 데이터로 제시하였다. 위 연구에서는 남성이 눈통증, 속 울렁거림, 상호림 등 주관적 피로감에서 여성보다 큰 Likert 척도로 답하였다. 원인으로 공간지각 상 남성과 여성의 차이로 두고 있으며, 남성은 장면 전체를 참조하려고 하고 여성은 부분적인 특정 정보에 의존하여 처리하려는 경향[18,19]을 보이는 성격적인 원인으로 보고 있다. 남성이 여성보다 영상의 전체를 보려고 하기 때문에 눈과 뇌로 들어오는 많은 영상정보를 처리해야 한다.

2D 영상에서 VR, AR 영상으로 빠르게 기술진화가 되고 있기 때문에 입체시를 높이는 VR, AR 영상이 사용자에게 정신적, 육체적으로 안정적인 자극으로 부여되기 위해서는 인간공학적 관점에서 많은 기술적 연구가 필요하다.

영상피로부터 유발되는 정신적, 육체적 반응들은 과업 수행에 부정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 예방하기 위해서는 초기 시스템을 구현 시 영상피로를 줄일 수 있는 디자인(Engineering Intervention)이 필요하며, 이미 구현된 시스템이라면 이에 맞는 영상피로에 덜 민감한 작업자를 배치(Administrative Intervention) 하는 것이 과업 효율 저하를 막을 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다. 인간의 정보처리 모델(Human Information Processing Model) 측면에서 영상피로는 작업 기억(Working Memory)에 영향을 주지만, 장기 기억(Long-term Memory)에는 거의 영향을 미치지 않는다[10,23]. 이는 장기 기억이 요구되는 반복적 자극 학습을 통한 피로 하에서의 과업 수행도 향상을 어렵게 한다. 따라서 영상피로를 적게 주는 시스템을 디자인하기 곤란하거나 기존 시스템에 맞추어서 작업자를 교육/학습시키기도 어떤 제한사항이 존재한다면, 영상피로에 덜 민감한 작업자를 선별하여 활용하는 방안이 합리적

일 수 있다.

기술적으로 영상피로를 줄일 수 있는 연구 진행과 함께 제조사 차원에서는 제조물책임법(Product Liability Law)과 관련하여 적절한 시정 유의사항을 사용자에게 경고해야 하며, 영상피로를 줄이기 위한 표준이나 가이드라인이 정립된 상태에서 제품 개발 및 보급이 이루어져야 하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 실내 자전거용으로 활발하게 개발되고 있는 HMD 기반의 VR 영상이 2D 영상에 비해서 영상피로를 얼마만큼 줄 것인가에 대한 실험을 진행하고 분석하였다. 제시된 연구방법 및 연구결과는 VR기술이 실내 운동기구 등 여러 분야에 접목되는 경우가 증가하는 현재와 향후에 이러한 VR이 운전자에게 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 연구방법을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 연구 범위 및 기간상 제약으로 미흡한 연구분야는 다음과 같기 때문에 추후에도 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

첫째, 본 연구에서는 독립변수로 영상 타입과 성별만을 고려하였고 통제변수(Control Variable)로써 피시험자의 동일한 자전거 운용을 선정하였다. 하지만 영상피로가 영상 타입과 성별 외에도 신체 움직임(예, 패달 밟기, 상체 움직임 등)과 상호작용(Interaction)이 될 수 있기 때문에 Multi-Camera System 등을 통한 복합적인 실험계획과 분석이 필요하다.

둘째, 본 연구에서는 피실험자를 20대 대학생을 선정하였지만, 연령대에 따라 영상피로를 느끼는 정도가 다르다. 예를 들어 감기택(2016) 연구에 의하면 연령이 높아질수록 3D 영상물을 시청 할 경우 주관적인 불편감(눈통증, 어지러움, 상호림 등)이 증가함을 보인 바 있다[23].

마지막으로 생생한 입체시 구현은 VR, AR에서 핵심적인 관심분야이며, 영상피로를 해결하는 것은 부차적인 과학적 관심분야일 수 있다. 즉, 제조사 입장에서는 부차적인 분야로 인해 제품 가격을 높여야 하는지 주저할 수 있기 때문에, 기술이 성숙 이후 제조과정에서의 영상피로 감소방안에 따른 효과 대 비용분석(Cost-Benefit Analysis)도 연구의 한 분야가 될 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP) (R0115-15-1003, Immersive VR MTB Game and Interlocking 5D Simulator Development).

REFERENCES

- [1] Lee, Y., "Problem of Definition on Mixed Reality and Its Alternative, and Relationship of Virtual/Augmented Reality", *Journal of Korea Design Knowledge*, vol. 34, pp. 193-202, 2015.
- [2] <http://press.trendforce.com/node/view/2210.html>
- [3] Kim, M., Kang, J., and Jun, M. S., "Market and Technical Trends of VR Technologies", *Korea Journal of Contents*, vol. 14, no. 4, pp. 14-16, 2016.
- [4] Park, S. I., Whang, M. C., and Kim, J. W., "Autonomic nervous systems response to affected by 3D visual fatigue evoked during watching 3D TV", *Korea Society for Emotion and Sensitivity*, vol. 14, no. 4, pp. 653-662, 2001.
- [5] Han, S., "Quantitative analysis of display fatigue induced by 2D, 3D videos", *The journal of digital convergence*, vol. 14, no. 3, pp. 329-335, 2016. DOI: <http://doi.org/10.14400/JDC.2016.14.3.329>
- [6] Kim, S., and Han, S., "The relationship between visual stress and MBTI personality types", *The Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 13, no. 9, pp. 4036-4044, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.9.4036>
- [7] Kang, H., Jang, Y., Kim, U., and Hong, H., "Study of the change of the fatigue and the visual function before and after viewing 2D and 3D movies", *Korean Journal of Vision Science*, vol. 18, no. 2, pp. 121-133, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2016.18.2.121>
- [8] Kim, J., Son, J., Park, S., and Kwon, S., "Clinical consideration of visual fatigue on 3D images", *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 38, no. 11, pp. 990-999, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.11.990>
- [9] Park, K. S., Choi, J. A., Kim, J. T., and Kim, S. S., "Relationship between scene movements and cybersickness", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, vol. 24, no. 1, pp. 1-7, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5143/JESK.2005.24.1.001>
- [10] Corr, P. J., and Kumari, V., "Sociability/Impulsivity and attenuated dopaminergic arousal: Critical flicker/fusion frequency and procedural learning", *Personality and Individual Differences*, vol. 22, no. 6, pp. 805-815, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(96\)00279-6](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(96)00279-6)
- [11] Corr, P. J., Pickering, A. D., and Gary, J. A., "Sociality/Impulsivity and caffeine-induced arousal: Critical flicker/fusion frequency and procedural learning", *Personality and Individual Differences*, vol. 18, no. 6, pp. 713-730, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(95\)00001-M](https://doi.org/10.1016/0191-8869(95)00001-M)
- [12] Lee, H., Jang, M., and Mah, K., "The visual effect resulting from visual reality", *Korean Journal of Vision Science*, vol. 18, no. 3, pp. 153-162, 2010.
- [13] Han, S., and Kim S., "The analysis of low back loading and muscle fatigue while lifting an asymmetric load", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 30-36, 2012.
- [14] Kim, T. G., Bae, S. H., and Kim, K. Y., "The effect of muscle activity on muscle architectural of medial gastrocnemius in chronic stroke patient based on ankle joint degree", *The Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 13, no. 9, pp. 3991-3998, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.9.3991>
- [15] Kwon, S., and Bang, E., "Study on 3D pictures and human facts: Comparison of 2D and 3D receptions by measuring brainwaves", *2012 Proceedings of Human - Computer Interaction Korea*, pp. 943-947, 2012.
- [16] Jang, H. J., and Noh, K. Y., "An experimental study of stereoscopic image and fatigue effect for 3D video game: linking cerebral physiologic measure", *Journal of Korea Game Society*, vol. 13, no. 3, pp. 5-18, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7583/JKGS.2013.13.3.5>
- [17] Lee, J., and Park, D., "Differential effects of 2D and 3D motion pictures on physical fatigue, recognition and arousal", *Korean Society for Emotion and Sensitivity*, vol. 13, no. 4, pp. 621-634, 2010.
- [18] Lawton, C. A., Charleston, S. L., and Zieles, A. S., "Individual and gender related differences in indoor wayfindings", *Environment and Behavior*, vol. 28, no. 2, pp. 204-219, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1177/0013916596282003>
- [19] O'Laughlin, E. M., and Brubaker, B. S., "Use of landmarks in cognitive mapping: gender differences in self report versus performance", *Personality and Individual Differences*, vol. 24, no. 5, pp. 595-601, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(97\)00237-7](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(97)00237-7)
- [20] Yoon, J. H., Lee, I., Kim, T., and Kim J., "Visual fatigue in watching 3 dimension television", *J. Korean Oph. Opt. Soc.*, vol. 17, no. 1, pp. 47-52, 2012.
- [21] Wickens, C. D., Lee, J. D., Lie, Y., and Becher, S. E. G., *An introduction to human factors engineering* (2nd ed), pp. 367-378, Prentice Hall, 2004.
- [22] Kim, J. I., "Research on the necessity of revision of product liability act", MS thesis, Kyunghee University, 2015.
- [23] Kham, K., "The effect of individual differences on visual discomfort in watching 3D contents", *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, vol. 28, no. 1, pp. 213-220, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22172/cogbio.2016.28.1.011>

김 선 욱(Sun-Uk Kim)**[정회원]**

- 1981년 2월 : 고려대학교 산업공학과(공학석사)
- 1990년 7월 : Oregon State University 산업 및 제조공학과(공학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 산업공학과 교수

<관심분야>

인간공학, 인공지능 및 전문가 시스템, 정보시스템

한 승 조(Seung Jo Han)**[정회원]**

- 2003년 2월 : KAIST 산업공학과(공학석사), 아주대학교 경영학과(경영학 석사)
- 2011년 9월 : 미)뉴욕주립대(버팔로)산업공학과 박사과정 수료
- 2013년 2월 : 단국대학교 산업공학과(공학박사)
- 2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>

인간공학, 무기체계, M&S, 의사결정론

구 교 찬(Kyo Chan Koo)**[정회원]**

- 2010년 2월 : 단국대학교 산업공학과(공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 단국대학교 산업공학과 박사과정 및 강사

<관심분야>

인간공학, 인공지능 및 전문가 시스템, Bioinformatics