

특집논문 (Special Paper)  
방송공학회논문지 제27권 제5호, 2022년 9월 (JBE Vol.27, No.5, September 2022)  
<https://doi.org/10.5909/JBE.2022.27.5.629>  
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## 가상환경에서 방향전환보행 데이터 활용 연구

임 양 미<sup>a)†</sup>

### A Study on the Use of RDW Data in Virtual Environment

Yangmi Lim<sup>a)†</sup>

#### 요 약

본 연구는 HMD를 착용하고 사용자가 이동하였을 때, 현실세계에서의 제한된 물리적 공간과 확장된 가상공간에서의 사용자 움직임 차이를 거의 느끼지 않도록 도와주는 방향전환보행(RDW) 기술 활용에 대한 실험이다. Unity3D와 같은 3D 공간 구현 소프트웨어들에 탑재되어 있는 RDW 기능은 사용자의 시각에 따라 가상공간을 조금씩 왜곡시켜 사용자의 방향 전환을 유도하는 데 유용하게 사용된다. 하지만 RDW 왜곡률을 과도하게 사용하면 부조화가 발생할 가능성이 크다. 특히 사용자의 사이버멀미를 유발하는 오류를 범하기 쉽다. 사용자가 장시간 HMD를 착용하고도 피로감 및 사이버멀미를 느끼지 않도록 가상환경에서의 RDW 데이터 값을 획득하는 것은 중요하다. 본 연구는 사용자의 방향전환보행이 안전하게 이행되는가를 실험하여 아이템 및 장애물 배치 데이터를 본 실험을 통해 획득하였다. 실험 결과로 얻은 RDW 데이터들은 가상공간에 아이템 배치 및 장애물 배치에 활용되었다.

#### Abstract

This study is an experiment on the use of RDW(Redirected Walking) technology, which helps users to hardly feel the difference of user movement in the limited physical space and the extended virtual space when the user moves while wearing the HMD in the real world. The RDW function installed in 3D space realization software such as Unity3D is used to induce the user's redirection by slightly distorting the virtual space according to the user's point of view. However, if the RDW distortion rate is used excessively, dissonance is highly likely to occur. In particular, it is easy to make errors that cause cybersickness of users. It is important to obtain the RDW data value in the virtual environment so that the user does not feel fatigue and cybersickness even after wearing the HMD for a long time. In this experiment, it was tested whether the user's RDW was safely implemented, and item and obstacle arrangement data were obtained through this experiment. The RDW data obtained as a result of the experiment were used for item placement and obstacle placement in the virtual space.

Keyword : RDW, RET, virtual reality, HMD, cyber sickness

a) 덕성여자대학교 IT 미디어공학과(Department of IT Media Engineering, Duksung Women's University)

† Corresponding Author : 임양미(Yangmi Lim)

E-mail: yosimi@duksung.ac.kr

Tel: +82-2-901-8350

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3725-0025>

※ This research was supported by the Duksung Women's University Research Grant 2021.

※ 본 논문은 덕성여자대학교의 2021년도 교내연구비 지원을 받아 게재되었습니다.

· Manuscript July 7, 2022; Revised August 8, 2022; Accepted August 8, 2022.

## I. 서론

다양한 산업 분야에서 VR·AR·MR 기술과 관련된 기기 보급이 확산하면서 저렴한 가격과 다양한 제품 생산이 급증하고 있다. 특히 경량화된 HMD (Head Mounted Display)의 대량 보급은 많은 사용자가 가상환경 접근에 쉽게 다가갈 수 있게 해주었다. 과거의 무거운 HMD를 사용하여 만든 콘텐츠들은 사용자가 제자리에서 사용하는 경우가 많았지만, 최근 들어 HMD의 경량화 기술 개발로 제한된 물리적 공간에서 사용자가 이동과 동시에 가상환경 콘텐츠를 즐기는 경우가 많아졌다. 하지만, 장시간 HMD를 착용한 채 즐기는 일은 아직 여러 문제점을 해결해야 한다. 그 중 현실세계와 가상세계의 공간 감각 데이터의 불일치로 발생하는 사이버멀미(Cybersickness) 문제를 해결하려는 노력은 다양하게 시도되고 있다<sup>[1]</sup>.

사이버멀미는 시각정보를 받아들이는 사람의 전정기관(평형기관)에서 현실에서의 보행과 가상에서의 보행 중에 입력되는 시각 정보가 일치하지 않기 때문에 발생하는 것이 대부분이다. 사용자가 가상세계에서 이동하는 동안 시각과 행동 데이터의 매핑 왜곡이 발생하여 사이버 멀미를 유발하고 공간학습과 기억을 방해하는 현상을 보일 때가 많다<sup>[2]</sup>. 이러한 현상을 최소화하기 위해 3D공간을 구현하는 소프트웨어 개발 회사들은 RDW (Redirected Walking, 방향전환보행) 기술을 3D 엔진소프트웨어에 탑재하고 있다. RDW 기술은 물리적 공간에서 사용자의 움직임이 가상 환경에 1:1로 매핑되지 않도록 최대한 조절하여 무제한으로 확장하는 가상환경에 제약없는 보행을 용이하게 해주는 이동 기술이다<sup>[3,4]</sup>. 하지만 가상환경 개발자들은 탑재된 RDW 기능을 올바르게 이용할 수 있는 가이드가 부재하여 제대로 사용하지 못하고 있는 경우가 많다. RDW는 기본적으로 사용자의 시각에 따라 가상공간을 조금씩 왜곡시켜 사용자의 방향 전환을 유도하는 것이기 때문에 왜곡률을 과도하게 사용하면 부조화가 발생할 가능성이 크다. 사용자가 인지하지 못하는 범위 내에서 멀미가 발생하지 않을 만큼의 왜곡 임계치 값을 찾아야 한다.

본 연구에서는 게임을 구성할 때 현실에서의 제한된  $5 \times 5 \text{m}^2$  물리적 공간을 가상환경에서 최대  $20 \times 20 \text{m}^2$ 까지 확장하였을 때의 왜곡 임계치 값을 구하는 것이다. 왜곡임계

치 값은 확장된 가상환경에서 사용자의 방향전환보행이 안전하게 이행되는가를 실험에 적용하여 최적화된 게임 아이템 및 장애물 배치 데이터를 얻고자 하였다. 본 논문의 구성은 2장에서는 RDW에 대한 선행연구를 설명하고 3장에서는 RDW를 활용한 가상환경 게임 구현에 대해 설명한다. 4장에서 개발된 가상환경 게임을 활용하여 RDW 왜곡률 실험에 대해 설명한다. 마지막으로 실험결과로 얻은 데이터에 활용 방안을 설명한다.

## II. 관련 연구

### 1. 방향전환 기술 (Redirection Techniques)

RDW (Redirected Walking)는 실제세계의 제한된 물리적 공간 내에서 사용자가 HMD를 사용하여 이동하였을 때, 그 이동이 가상환경에서 자유로운 보행으로 이어질 수 있도록 지원하는 기술로 제안되었다<sup>[5]</sup>. 일반적으로 3D 공간을 구현해주는 3D 엔진소프트웨어에는 가상환경 내에서 사용자의 움직임 변형이나 가상환경 구조의 조작을 통해 실제환경과 가상환경의 동작들이 1:1로 매핑되지 않도록 RET(Redirection Techniques) 기능이 탑재되어 있다. RET에는 회전, 곡률, 변환, 방향전환에 대한 재설정 가능성이 가능하며, 추적 영역의 경계나 물리적 공간의 벽과 같은 경계에서 충돌하지 않도록 사용자를 안전한 방향 또는 위치로 방향을 바꾸도록 유도한다. RET에는 RD(Redirection) 강도를 조정하기 위한 감지 임계값(왜곡률)이 있다<sup>[6]</sup>. RET를 제어하기 위한 RDW 알고리즘에 대표적인 S2C(Steer-to-Center)와 S2O(Steer-to-Orbit)가 있다<sup>[7,8]</sup>. 그림 1의 (a) S2C는 사용자가 추적 영역에서 중앙을 향해 걷도록 RET를 제어한다. (b) S2O는 사용자가 추적 영역에서 원을 그리며 이동하도록 RET를 제어한다. (c) steer-to-multiple-targets: 사용자가 일련의 정해진 포인트로 향하도록 유도하며, (d) steer-to-multiple-targets+center: 사용자가 추적영역에서 정해진 포인트들을 돌면서 중심으로 오도록 유도하는 기능이다<sup>[9]</sup>. 최근 강화학습알고리즘기반으로 더 정교하게 제어하는 S2OT 방향전환 알고리즘, RLRC 알고리즘도 제안되었다<sup>[10,11]</sup>.

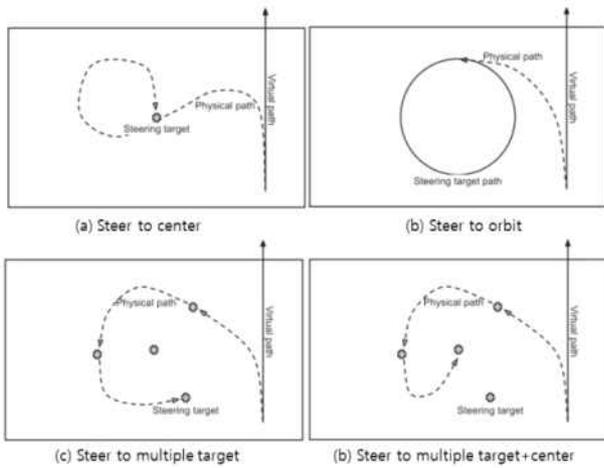


그림 1. RDW 알고리즘에 의한 사용자들의 경로 제어  
 Fig. 1. Path control of users by RDW algorithm

## 2. 사이버멀미 (Cyber Sickness)

가상현실 시스템을 사용할 때 부작용 중의 하나인 사이버멀미를 측정하는 기법은 Kennedy와 Fowlkes에 의해 작성된 설문을 기반으로 정량화되어 사용되고 있다<sup>[12]</sup>. SSQ (Simulator Sickness Questionnaire)는 16개에 대한 증상을 4척도(0=어지러운 느낌이 없다, 1=약간 느낀다, 2=보통,

3=심하다)로 정량화하였고 3개의 증상군을 분류하였다. SSQ에 사용된 증상들은 MSQ (Motion Sickness Questionnaire)를 모두 포함하고 있지 않은 단점과 시뮬레이터의 다양성이 배제되어 있어 완벽한 데이터를 얻기에는 부족하지만, 본 연구에서 진행하고자 하는 RDW의 최적 왜곡 임계치값을 구하는 것에는 요인 분석에 의한 증상 분류가 적절하여 SSQ를 채택하여 설문을 진행하였다<sup>[13]</sup>.

## III. 환경 구현

본 실험을 위해서 Oculus Quest 2 HMD를 활용한 공간 이동 게임 환경을 구현하였다. 사용자가 가상공간에서 지각하는 왜곡률 데이터를 얻기 위한 실험을 위해 크기가 다른 3개의 가상공간을 10x10m<sup>2</sup>, 15x15m<sup>2</sup>, 20x20m<sup>2</sup>로 설계하였다. 그림 2의 왼쪽은 Nightmare 게임 환경 전체를 보여주며, 오른쪽 stage 1 (10x10m<sup>2</sup>), stage 2 (15x15m<sup>2</sup>), stage 3 (20x20m<sup>2</sup>) 크기의 가상환경 구현을 보여준다. 그림 3은 Unity3D에서 제공하는 RDW Toolkit를 활용하여 사용자의 왜곡률을 미세조정하면서 최적의 방향전환 임계치값을 찾는 환경을 보여준다.

그림 4는 가장 크게 제작된 20x20m<sup>2</sup> stage 3 가상환경이

표 1. SS의 그룹분류와 SSQ 16가지 증상  
 Table 1. Group classification of SS and 16 symptoms of SSQ

No	group	symtoms	rating				note (overlapping symptoms)
			1	2	3	4	
1	Nausea	General Discomfort					
2		Nausea					
3		Stomach Awareness					
4		Increased Salivation					
5		Difficulty Concentrating					
6		Sweating					
7		Burping					
8	Oculomotor	Fatigue					General Discomfort
9		Headache					Difficulty Concentrating
10		Eye Strain					
11		Difficulty Focusing					
12		Blurred Vision					
13	Disorientation	Dizzy (Eyes Open)					Difficulty Focusing
14		Dizzy (Eyes Closed)					Nausea
15		Vertigo					Blurred Vision
16		Fullness of Head					

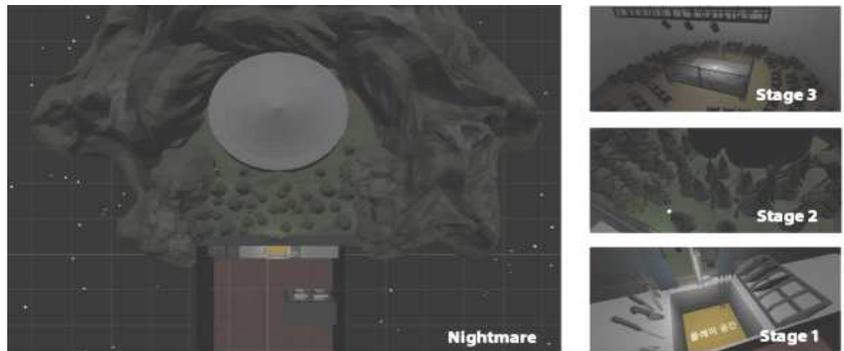


그림 2. Unity3D로 구현한 게임(nightmare) 공간 전체와 크기가 다른 3개의 공간  
 Fig. 2. The entire game (nightmare) space created using Unity3D and 3 spaces of different sizes

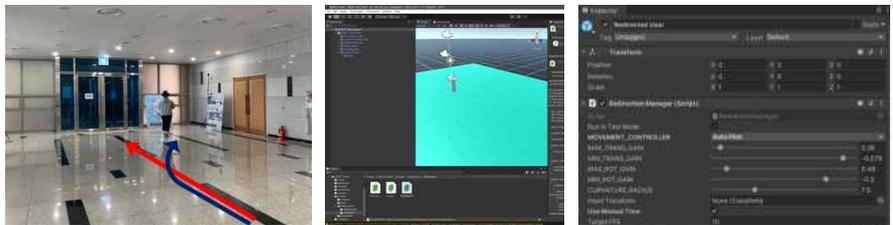


그림 3. Unity3D에서의 RDW 왜곡률 변화 실험  
 Fig. 3. Experiment with RDW distortion rate change in Unity3D

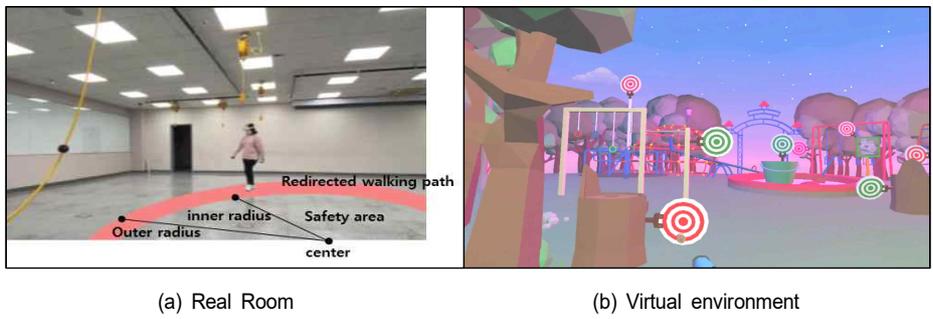


그림 4. 회전 게임이 적용된 상태에서 사용자가 VE에서 직선 이동 상황  
 Fig. 4. User walks along a straight line in the VE while a rotation gain is applied

다. 사용자가 가상환경내에서 슈팅게임을 진행하면서 과녁(장애물)을 향해 이동할 때, 현실세계에서 사용자는 곡선을 따라 움직이는 것을 보여주고 있다. 가상환경에서 사용자는 직선 방향으로 움직이고 있으나, 실제환경에서는 곡선 방향전환이동하고 있음을 보여준다. 초기 회전값 (ROT\_GAIN, min -1 ~ 0.26, max 0.5~1.3)은 Unity3D에서 제공하는 기준값을 사용하였다.

## IV. 실험

### 1. RDW 임계치 실험

RDW(방향전환보행) 데이터 값을 구하는 실험은 그림 4의 (b)와 같은 가상세계를 구현할 때 HMD를 사용한 사용자의 트래킹 공간과 RDW System이 트래킹 하는 공간이

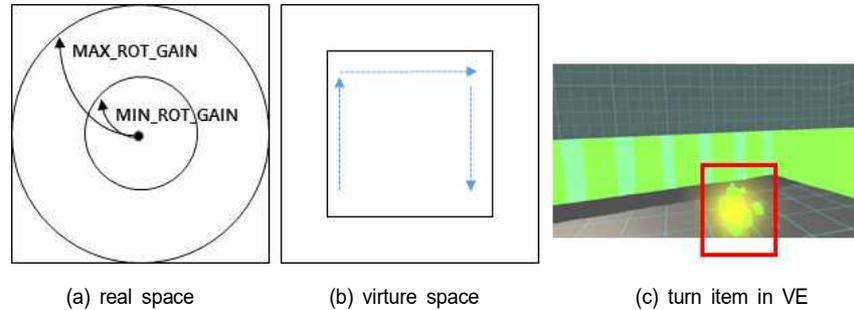


그림 5. 실험 1: VE에서 직선 방향 이동을 위한 MIN\_ROT\_GAIN과 MAX\_ROT\_GAIN의 영향  
 Fig. 5. Experiment 1: Effect of MIN\_ROT\_GAIN and MAX\_ROT\_GAIN for linear movement in VE

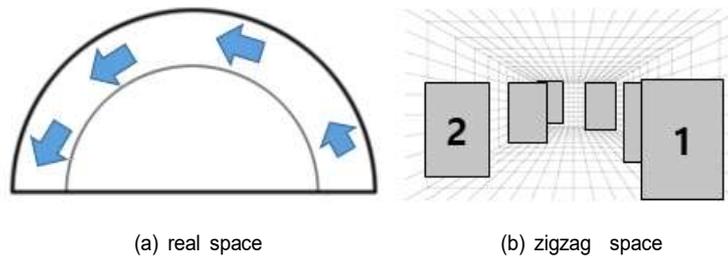


그림 6. 실험 2: VE에서 곡선과 지그재그를 이동을 위한 MAX\_ROT\_GAIN과 MIN\_ROT\_GAIN, CUR\_GAIN의 영향  
 Fig. 6. Experiment 2: Effect of MAX\_ROT\_GAIN, MIN\_ROT\_GAIN, and CUR\_GAIN for moving curves and zigzag in VE

일치해야 하고 그 공간에서 사용자의 동적 움직임이 현실과 가상의 방향전환보행 값이 매칭이 되어 어지러움증을 최소화 할 수 있다. 이를 위해 본 실험은 두 가지 실험을 진행하였고 실험 1은 직선으로 이동할 때, RDW에서 방향 전환 미세 조정 방법 중에 회전에 영향을 주는 변수 MIN\_ROT\_GAIN과 MAX\_ROT\_GAIN를 조정하여 진행하였다. 실험 2는 가상환경에서 곡선과 사선이동을 할 때 현실세계의 물리적 공간에서의 왜곡률 변화를 명확히 알기 위해 반원의 호와 지그재그 맵을 활용하였다. (그림 5와 그림 6 참조)

두 실험 모두 Oculus Quest 2 기기를 사용했고 Unity3D에 탑재된 RDW Toolkit을 이용하여 사용자의 왜곡률 실험을 진행했다. 실험은 Oculus 트래킹에 문제가 없도록 밝은 빛을 제공하며, 장애물이 없는 바닥 면적 5x5m<sup>2</sup>에서 진행되었다. 가상환경 공간은 10x10m<sup>2</sup>, 15x15m<sup>2</sup>, 20x20m<sup>2</sup> 3개의 방 벽을 따라 걷고 문으로 나오는 방식으로 진행했다. 실험이 유의미하게 진행되기 위해서는 Oculus가 트래킹하는 공간과 RDW System이 트래킹 하는 공간이 일치해야

하기 때문에 하나의 방을 지난 후에는 Oculus로 부터 설정해둔 플레이 영역을 받아와 그 영역의 중간에 오브젝트가 나타나도록 하였고, 피실험자가 그 오브젝트에 도달하면 다음 방으로 이동하게 했다.

각 공간에서 어느 레벨이 가장 최적의 환경을 구성하게 되는지를 설문을 통해 얻었다. 설문 내용은 Kennedy et al. (1993)의 SSQ를 활용하였다<sup>[12]</sup>. 실험 과정에서 초기 맵을 구성할 때는 RDW Toolkit 시스템이 제공하는 최대 왜곡률과 최저 왜곡률을 표 2와 같이 10단계로 나누어 설정해두었으며, 중간 값인 4단계와 5단계 값을 먼저 실험하여 멀미의 정도에 따라 심하지 않을 경우 높은 단계를 실험하였고, 멀미가 심하다 판단되는 단계에 도달하면 그 이상의 왜곡 값들은 진행하지 않았다. 표 2의 0-4레벨 값을 기준으로 표 3과 같이 다시 10단계로 나누어 2차 실험을 진행하였다. 2차에서도 중간 단계부터 시작하여 단계를 올리거나 내리며 멀미가 심하다고 판단된 단계 이후로는 실험하지 않았다. 따라서 이 실험은 표 4와 같이 0부터 9단계 중 4단계까지만 진행하게 되었다.

표 2. 실험 1의 1차 : RDW Toolkit 시스템이 제공하는 최대 왜곡률과 최저 왜곡률

Table 2. Experiment 1's 1st: Maximum and minimum distortion rates provided by the RDW Toolkit system

Level	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MIN_ROT_GAIN	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-0.99
MAX_ROT_GAIN	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

표 3. 실험 1의 2차 : RDW Toolkit 시스템이 제공하는 최대 왜곡률과 최저 왜곡률

Table 3. Experiment 2nd: Maximum and minimum distortion rates provided by the RDW Toolkit system

Level	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MIN_ROT_GAIN	-0.1	-0.14	-0.18	-0.22	-0.26	-0.3	-0.34	-0.38	-0.42	-0.46
MAX_ROT_GAIN	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3

표 4. 실험 1의 2차 실험의 레벨 0에서 4까지의 값

Table 4. Values from level 0 to 4 of the second experiment of experiment 1

Level	0	1	2	3	4
MIN_ROT_GAIN	-0.1	-0.14	-0.18	-0.22	-0.26
MAX_ROT_GAIN	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3

표 5. 실험 1의 피실험자 30명에 대한 Path 외곽에 부딪힌 횟수의 평균값과 SSQ

Table 5. The average number of collisions hit the outer path of the 30 subjects and the SSQ in experiment 1

Level	0	1	2	3	4
10x10	4.67	5.33	4.67	5.33	5
15x15	9.67	9	9	9	8.67
20x20	12	12	11.33	11.67	10.67
SSQ	0	2.49	3.74	11.22	18.7

표 5는 표 4의 레벨 0~4까지의 MIX\_ROT\_GAIN과 MAN\_ROT\_GAIN값을 적용하여 각 방의 크기별로 피실험자들이 플레이 영역 외곽에 부딪힌 횟수와 단계별 SSQ값의 평균을 소수 둘째 자리까지 나타낸 값이다. 해당 실험을 통해 Rotation 값이 부딪히는 횟수에는 큰 차이를 보이지 않으나 레벨 4의 SSQ값의 변화를 보면 멀미에는 큰 차이를 보이는 것을 확인하였다.

실험 2는 피실험자의 회전공간 확보를 위해 현실세계의 크기를 6.3x6.3m<sup>2</sup>로 바꾸어 진행하였다 (그림 6 (a)의 내부원(5x5m<sup>2</sup>)과 외부원의 차이 걷는 폭 1m 필요). 그림 6에서 보듯이 맵은 두 가지로 나누어 진행하였는데 첫 번째는 가상공간이 지름 30m 반원의 호를 따라 걷는 맵과 두 번째는 길이 30m, 2m 간격으로 벽을 지그재그로 세운 맵으로 진행하였다. 화살표와 번호로 걷는 방향과 위치를 알려주고 모든 실험 참가자가 동일하게 걸을 수 있도록 하였다. 실험은 1차와 동일하게 진행되었다. 실험 결과 Rotation 값은 지그재그 맵에 영향을 주었고 Curvature Radius는 곡선 맵에서 더 영향이 크게 나타났다. 또한 실험에 사용한 S2C 알고리즘(사용자 중심으로 돌아오는 궤적)이기 때문에 Curvature Radius(사용자가 이동하며 그리는 원의 반지름)는 실험에서 지정한 현실세계의 물리적 공간(6.3x6.3m<sup>2</sup>)밖으로 벗어나는 값들부터는 Curvature Radius값의 변화가 의미를 없음을 보였다. 최종 결과값으로 표 7과 8로 선정하여 실험을 진행하였다.

표 7과 표 8은 표 6에서 얻은 유의미 레벨값을 적용하여 피실험자들이 플레이 영역 외곽에 부딪힌 횟수와 단계별 SSQ값의 평균을 소수 둘째 자리까지 나타낸 값이다.

표 6. 실험 2 : RDW Toolkit 시스템이 제공하는 최대 회전 왜곡률과 최저 회전 왜곡률, 곡률(반경)

Table 6. Experiment 2: Maximum & minimum rotation and curvature radius distortion rates provided by the RDW Toolkit system

Level	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MIN_ROT_GAIN	0	-0.05	-0.1	-0.15	-0.2	-0.25	-0.3	-0.35	-0.4	-0.45
MAX_ROT_GAIN	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.3
Cur_radius	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

표 7. 실험 2(zigzag)의 피실험자 30명에 대한 Path 외각에 부딪힌 횟수의 평균값과 SSQ

Table 7. Experiment 2(Zigzag): The average value of the number of collisions on the outer edge of the path, and the SSQ for 30 test subjects

Level	0	1	2	3	4
MIX, MAN,CUR	0,0,4	1,1,4	2,2,4	3,3,4	4,4,4
average number of collisions	6	4.38	4.32	4.29	4.25
SSQ	15.43	21.51	26.78	33.52	37.87

표 8. 실험 2(Curvature radius): 피실험자 30명에 대한 Path 외각에 부딪힌 횟수의 평균값과 SSQ

Table 8. Experiment 2(Curvature radius): The average value of the number of collisions on the outer edge of the path, and the SSQ for 30 test subjects

Level	0	1	2	3	4
MIX, MAN,CUR	(4,4,1)	(4,4,2)	(4,4,5)	(4,4,7)	(4,4,9)
average number of collisions	1.71	4.29	5.35	5.87	6.29
SSQ	13.36	9.62	9.87	10.86	10.69

실험 2의 결과로 Cur\_Radius는 회전이 일정하게 이루어지는 곡선 맵에 미세조정으로 적합하며, Rotation\_Gain은 지그재그 맵에 미세조정이 효율적이라는 것을 얻었다. 특히 왜곡률이 낮은 경우에는 왜곡률이 높을 때보다 가장자리에 부딪히는 경우가 더 많았다.

## 2. 실험2 결과에 따른 RDW 데이터 적용 기반 지그재그 맵 가상환경 구현

실험 2에서 얻은 왜곡률(RDW 데이터)을 활용하여 위해 지그재그 맵 기반의 발판 건너뛰기 게임을 구현하였다. 그림 7은 표 7의 레벨 3(Average Number of Collisions 4.29)과 4(Average Number of Collisions 4.25)의 값을 적용하여 현실세계 크기(6.3x6.3m<sup>2</sup>)로 놓고 가상공간(10x10m<sup>2</sup>) 가로 10m 내에 배치되는 장애물(징검다리 오브젝트) 수와 세로 10m 내에 장애물 수를 정하는 시뮬레이션을 진행하였다.

표 9는 장애물 수를 가상공간의 폭(가로) 10m ∈ {objects: 2, 3, 4, 5, 6} 내에 몇 개를 배치했을 때 징검다리 오브젝트에서 떨어지거나 부딪히지 않고 성공하여 어지럽지 않은지에 대한 실험 결과이다. 실험 2에 참여한 피실험자 중 10명의 피실험자 대상으로 SSQ를 실시하였고, 9명이 장애물(Object) 5개 정도가 있을 때 안정적으로 게임에 몰입할 수 있었다고 대답하였다.

## V. 결론

방향전환보행(RDW) 기술은 사용자가 가상환경 장소로

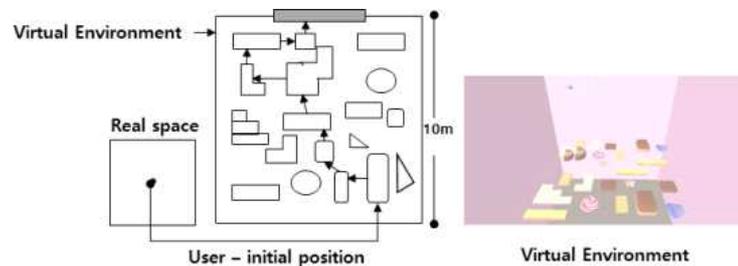


그림 7. 실험 2에서 도출된 데이터를 적용하여 지그재그 맵기반의 발판 게임을 구현  
 Fig. 7. By applying the data derived from Experiment 2, a zigzag map-based scaffolding game was implemented

표 9. 실험 2(zigzag)의 레벨 0과 1을 활용하여 징검다리(오브젝트) 건너기 : Path 외각에 부딪힌 횟수의 평균값과 SSQ  
 Table 9. Cross the stepping object using levels 3 and 4 of experiment 2 (zigzag)

	number of object	2	3	4	5	6
Level 3	number of collisions /	8/15.1	6/14.16	3/9.12	1/8.44	1/8.51
Level 4	SSQ	8/14.82	7/14.82	2/9.23	1 / 8.51	1/9.12

이동하는 수단을 제공하는 기술로 현실에서의 물리적 공간이 허용하는 한도 내에서 도보로 탐색할 수 있도록 지원해주는 기술이다. 이러한 RDW 기술은 사용자(보행자)가 추적공간을 벗어나 물리적 장애물과의 충돌을 방지, 다른 사용자와의 충돌 방지, 사이버멀미가 발생하지 않아야 한다. 본 연구는 RDW를 활용하여 확장된 가상환경에서 사용자의 방향전환보행이 안전하게 이행되는가를 실험에 적용하여 최적화된 게임 아이템 및 장애물 배치 데이터를 얻고자 하였다. 또한 Unity3D에서 제공하는 RDW Toolkit을 이용하여 가상환경이 확장되어도 사이버멀미가 발생하지 않도록 실험을 통해 왜곡률 변화 값을 구하였다. 최종 결과 왜곡률을 값은 나이트메어라는 게임 제작에 장애물 수와 가상공간에서의 위치 정렬에 사용하였다. 최근 기업이 발표한 연구들은 가상환경 기반의 게임 구현에 필요한 최적의 왜곡률을 찾기 위해 강화 학습데이터를 활용하여 RDW 사용방안이 소개되고 있으나, 본 연구에서는 학습데이터 부족으로 적용하지 못하였다. 향후 본 연구에서 획득한 데이터를 기반으로 딥러닝 기반의 RDW 자동화 값에 관하여 연구를 진행할 예정이다.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] K. Han, H. Kim, "The Cause and Solution of Cybersickness in 3D Virtual Environments," Korean Psychological Association, Vol.23, No.2, pp.287-299, 2011.  
doi: <https://doi.org/10.22172/cogbio.2011.23.2.007>
- [2] S.Lee and Y. Kim, "A Study on the Improvement of VR Sickness", Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, Vol.24, No.2, pp.1012-1014, 2017.  
doi: <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2017m11a.1012>
- [3] N.C. Nilsson et al., "15 Years of Research on Redirected Walking in Immersive Virtual Environments," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.38, No.2, pp.44-56, 2018.  
doi: <https://doi.org/10.1109/mcg.2018.111125628>
- [4] N. Rewkowski, A. Rungta, M. Whitton and M. Lin "Evaluating the Effectiveness of Redirected Walking with Auditory Distractors for Navigation in Virtual Environments," 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Osaka, Japan, March 2019.  
doi: <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798286>
- [5] S. Razaque, Z. Kohn and M. C. Whitton, "Redirected walking," in Eurographics 2001, Short Presentations. Eurographics Association (2001).  
doi: <https://doi.org/10.2312/egs.20011036>
- [6] W. Shibayama and S. Shirakawa, "Reinforcement Learning-Based Redirection Controller for Efficient Redirected Walking in Virtual Maze Environment", Computer Graphics International(CGI) 2020.  
doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61864-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61864-3_4).
- [7] E. Hodgson and E. Bachmann, "Comparing Four Approaches to Generalized Redirected Walking: Simulation and Live User Data," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.19, Issue 4, pp.634-643, April 2013.  
doi: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.28>
- [8] T. Nescher, Y. Huang and A. Kunz, "Planning redirection techniques for optimal free walking experience using model predictive control" IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). pp.111 - 118, Minneapolis, MN, USA, 2014.  
doi: <https://doi.org/10.1109/3DUI.2014.6798851>
- [9] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz and M. Lappe, "Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.16, Issue 1, pp.17-27, 2009.  
doi: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.62>
- [10] D. -Y. Lee, Y. -H. Cho and I. -K. Lee, "Real-time Optimal Planning for Redirected Walking Using Deep Q-Learning," 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 63-71, 2019.  
doi: <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798121>
- [11] Mi. A. Zmuda, J. L. Wonsler, E. R. Bachmann and E. Hodgson, "Optimizing constrained-environment redirected walking instructions using search techniques," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.19, Issue 11, November. 2013.  
doi: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.88>
- [12] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum and M. G. Lilienthal, "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method of quantifying simulator sickness," The International Journal of Aviation Psychology, Vol.3, Issue 3, pp. 203 - 220, 1993 (online 2009).  
doi: [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)
- [13] C. Lee, "Research on virtual reality and its use & side effects," Journal of Korea Multimedia Society, Vol.3, No.1, pp 108-117, 1999

---

저 자 소 개



**임 양 미**

- 1998년 3월 : 큐슈대학교 정보전달학과 석사
- 2009년 2월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 박사
- 2010년 ~ 현재 : 덕성여자대학교 IT미디어학과 부교수
- 2016년 ~ 현재 : 한국방송·미디어공학회 논문지편집위원
- 2015년 ~ 현재 : 한국멀티미디어학회 이사
- 2017년 ~ 2019년 : 문화체육관광부 문화기술 PD
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3725-0025>
- 주관심분야 : 멀티미디어, 인터랙티브아트, UX/UI