

## AR/VR 콘텐츠의 사용성 평가 체계 개발

한수민<sup>1</sup>, 정한일<sup>2\*</sup>, 이회준<sup>3</sup>, 이재영<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 산업공학과 박사과정, <sup>2</sup>대전대학교 컴퓨터공학과 교수, <sup>3</sup>(주)케이씨리아이 XR비전기술연구소 기술연구팀장,  
<sup>4</sup>(주)케이씨리아이 XR비전기술연구소 대표이사

## Development of Evaluation Scheme for Usability of AR/VR Contents

Sumin Han<sup>1</sup>, Hanil Jeong<sup>2\*</sup>, Hoijun Lee<sup>3</sup>, Jaeyoung Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D candidate, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

<sup>2</sup>Professor, Department of Computer Engineering, Daejeon University

<sup>3</sup>Manager, Knowledge of Interactive, Innovative & Integrated Information, INC.

<sup>4</sup>President, Knowledge of Interactive, Innovative & Integrated Information, INC.

**요약** AR/VR 헤드셋의 대중화로 인하여 AR/VR 콘텐츠 산업이 많은 관심을 받고 있으나, 콘텐츠의 사용성을 저해하는 불편함이 산업의 성장에 나쁜 영향을 주고 있다. 본 연구는 이를 개선하기 위하여 AR/VR 콘텐츠의 사용성 평가를 위한 체계를 설계하고 해당 체계를 구동하기 위한 프로토타입 시스템의 구축을 시도하였다. 제안된 평가 체계는 AR/VR 콘텐츠의 사용성에 연관된 다양한 항목을 개별적으로 평가한 후, 이를 종합하여 통합 사용성을 평가하는 체계이다. 이를 위하여 사용성에 관련된 항목을 안전성과 편의성 및 세부 항목에 맞추어 분류하고, 각 항목을 평가하기 위한 기준과 각 항목 및 요소의 중요도를 도출하는 방법, 그리고 이를 통합하여 최종 사용성을 평가하는 프로세스를 제안하였으며, 체계적 평가 수행을 위한 프로토타입 시스템을 구축하였다. 본 연구의 결과는 AR/VR 콘텐츠의 사용성 검증 기능 외에도 콘텐츠 제작 지침으로 작동하여 산업의 진흥에 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 가상현실, 가상현실 콘텐츠, 안전성, 편의성, 평가 시스템

**Abstract** Due to the spread of AR/VR headset, AR/VR contents market gains huge interests. However, various obstacles such as discomfort that restricts usability and absence of standard to evaluate usability block the growth of AR/VR contents industry. To overcome these problems, this study tries to develop an evaluation scheme for the usability of R/VR contents and a prototype system. The proposed evaluation system divides usability related items into safety and convenience items and performs evaluation by item through automatic and experience evaluation by system and experts/experience teams according to characteristics, and comprehensively evaluates the usability of AR/VR content. In this study, a detailed process for usability evaluation and the prototype system are developed to verify the evaluation scheme. Developed scheme is expected to help the AR/VR content industry overcome the usability issues, and develop high-quality AR/VR content.

**Key Words** : Virtual Reality, AR/VR contents, Usability, Safety, Evaluation Scheme

\*This research was supported by the Daejeon University Research Grants(2020)

\*Corresponding Author : Hanil Jeong(hijeong@dju.ac.kr)

Received November 2, 2020

Accepted March 20, 2021

Revised March 2, 2021

Published March 28, 2021

## 1. 서론

### 1.1 AR/VR 콘텐츠

가상현실(Virtual Reality, VR)에 대한 관심은 다양한 미디어, 학계 등의 관심을 끌어왔다. 가상현실 산업은 1980년대부터 태동하기 시작하여, 대중이 소비할 수 있는 형태로는 1990년대부터 HMD(Head Mounted Display) 등의 형태로 시장에 등장하였으나, 미성숙한 기술과 고가 제품이라는 한계로 인하여 군사 분야와 같은 특수 분야에서 활용되는 데 그쳤고, 대중화에는 계속하여 실패했다. 이후 2010년대에 들어 컴퓨터 기술의 발전과 소형화 및 디스플레이 기술의 발전으로 디스플레이의 가격하락이 발생하였고, 그로 인하여 AR/VR 헤드셋이 대중화될 수 있는 기반이 마련되었으며, 그 결과 VR 및 유사분야인 AR 시장이 크게 성장하기 시작하여 앞으로도 지속해서 성장할 것으로 예측되며, 최근 코로나 19의 범유행 여파로 향후 비대면 사회로의 변화가 예고되면서 성장 속도가 급속히 증가할 것으로 예상되고 있다.

이에 발맞추어 AR/VR 콘텐츠 산업 역시 영상, 교육, 의료, 건축, 교육 등 다양한 전통산업과 융합이 가능하여 관련 시장이 크게 성장할 것으로 예상되며, 다양한 층위의 기업들이 참여 중이다.

### 1.2 AR/VR 콘텐츠의 사용성

AR/VR 콘텐츠는 일반 영상 콘텐츠와는 다르게 AR/VR 헤드셋을 사용해야 하므로, 일반 콘텐츠와는 다른 사용성 문제가 발생할 수 있다. 사용성은 크게 콘텐츠 이용 시 발생하는 어지럼증 및 구토감 등에서 기인한 안전성과 기존의 콘텐츠와는 다른 조작 방식으로 인하여 발생하는 편의성으로 구분될 수 있다.

다양한 AR/VR 콘텐츠가 시장에 출시되고 있으나, 콘텐츠 제작에 있어서 사용성에 대한 배려 부족으로 실제로 사용이 힘든 콘텐츠가 판매되기도 한다. 또한, 개발한 콘텐츠의 안전성 및 편의성을 체계적으로 고려하기 위한 수단이 부족하여, 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 고품질 콘텐츠 개발에 어려움이 있다.

AR/VR 콘텐츠 이용 시 발생하는 안전성 문제의 원인으로는 콘텐츠 내의 움직임과 현실의 움직임과의 불일치, AR/VR 헤드셋의 성능 미비 등 다양한 요인이 거론되고 있으며, 이에 대한 다양한 분석 및 기준에 관한

연구가 행해지고 있다. AR/VR 콘텐츠의 편의성 역시 UI의 디자인 및 사용 방법에 따른 다양한 연구가 행해지고 있으나, 안전성과 사용성을 통합하여 평가하기 위한 기준이 명확하지 않은 상황이다.

이러한 한계를 넘어 가능한 자동화 과정을 통해 콘텐츠의 사용성과 편의성을 평가하고, 개선해야 하는 부분을 명시할 수 있는 평가체계 및 시스템 구축이 가능하다면, 고품질 AR/VR 콘텐츠의 제작 및 활용에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통하여 AR/VR 콘텐츠의 확산에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1.3 본 연구의 목표

본 연구에서는 AR/VR 콘텐츠의 사용성에 연관된 안전성과 편의성을 통합하여 평가하기 위한 평가체계의 연구를 시도하였다.

본 연구에서 제시하는 평가체계는 AR/VR 콘텐츠의 특성에 맞추어 시스템에 의해 자동으로 산출되는 결과와 전문가/체험단에 의한 체험 평가 결과를 종합하여 안전성과 편의성에 평가 결과를 산출하고, 이를 바탕으로 전체 사용성을 평가하는 방식을 따른다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 관련 연구를 다루고, 3장에서는 AR/VR의 사용성을 편의성과 안전성의 두 요소로 평가하는 프로세스에 관해서 설명하였다. 4장 및 5장에서는 AR/VR의 편의성과 안전성 평가를 위한 세부적인 평가 항목별 특성 및 평가 내용에 대하여 다루었다. 이어지는 6장에서는 세부 평가 항목의 평가 결과를 종합하여 사용성을 평가하는 프로세스에 관해서 설명하였으며, 6장에서는 이를 구현하고 시험하기 위하여 구축한 프로토타입 시스템을 제시하였고, 마지막으로 7장에서는 결론 및 차후 보완점에 대하여 논하였다.

## 2. 관련 연구

AR/VR 콘텐츠의 사용성은 비교적 최근 관심이 높아진 분야로서, 이에 대해 학계 및 관련 업계에서 다양한 연구를 진행하였다.

Kennedy, R. S.와 3인은 시뮬레이터로 표현되는 가상현실 구현 장치 사용 때 종종 나타나는 불편함에 대해서 논하고 이를 측정하는 방법인 Simulator sickness questionnaire(SSQ)를 제시하였으며[1] 이는 이후에

다양한 연구에서 불편함을 측정하는 데 사용되어 왔다.

Kala 외 6인은 AR/VR 콘텐츠 이용 시 발생하는 불편함이 FoV(Field of View)의 변화에 따라 어떻게 변화하는지 확인하였다. 이들은 전체적인 FOV 변화 외에도 화면의 가로와 세로의 변화 역시 주요 요인으로 분석하였다[2].

Norouzi 외 2인은 AR/VR 콘텐츠 내 사용자의 머리 회전 및 FoV의 변화에 따른 불편함 발생에 관한 연구를 수행하였으며, cFoV(Camera FoV)의 변화에 따른 불편함에 대해서 측정하고 불편함을 줄이기 위한 기준을 제시하였다[3].

Tanaka와 Takagi는 AR/VR 콘텐츠 내에서 사용자의 머리 회전 속도에 따른 사용자가 느끼는 불편함에 대해서 실험을 수행하였고, 초당 각속도에 따른 불편함 수치의 변화에 따른 불편함의 변화 및 사용 가능한 각속도의 한계를 밝혔다[4].

Yao 외 5명은 오쿨러스 리프트라는 VR 장비를 사용할 경우, 불편함을 느끼지 않도록 하기 위한 콘텐츠 제작의 가이드라인을 제시하였는데, 이를 위하여 VR 콘텐츠의 다양한 세부 특성 항목을 나열하고, 특성 항목의 수준과 불편함의 연관 관계를 분석하였다[5].

Kim 외 5명은 AR/VR 콘텐츠 내부의 카메라 움직임과 콘텐츠를 사용하는 사용자의 불편함의 상관관계에 관해서 연구를 수행하였으며, 사용자의 조작과 카메라 움직임에 따른 불편함을 평가하고, 적절한 조작 방법을 선택하는 방법을 제시하였다[6].

Porcino 외 4명은 AR/VR 콘텐츠 이용 시 사용자가 불편함을 느끼게 만드는 화면의 요소, 콘텐츠 내의 정보 등과 같은 다양한 요소를 제시하였으며, 이에 대한 실험을 통해 현실의 지나친 반영이 불편함을 초래한다는 점을 지적하였다[7].

Norouzi 외 2명은 입력체계에 따른 불편함 발생에 대한 실험을 수행하였으며, 신체 움직임의 조작 체계에 과다하게 적용될 경우 발생하는 사용의 폐해가 존재함을 밝혔다[8].

Weißker 외 3명은 콘텐츠 내에서의 사용자가 자신의 위치를 변경할 때 사용되는 다양한 이동 방법과 각각의 방법에 따라 사용자가 느끼는 불편함의 변화에 관해서 연구하였으며, 현실과 같은 이동 방법보다 순간 이동과 같은 방법이 불편함을 줄이는 데 도움이 된다는 사실을 실험을 통해서 밝혔다[9].

송은지와 정아름은 안구의 운동에 따라 사용자가 느끼는 불편함에 대한 실험을 수행하였으며, 불편함을 일으키는 콘텐츠 내 물체의 이동 속도의 예측 방법과 이를 방지하기 위한 기준을 제시하였다[10].

Serge와 Moss는 VR 장비인 오쿨러스 리프트 사용 시 발생하는 다양한 불편함에 대하여 나열하고, 장시간 이용에 따른 불편함의 발생을 실험을 통하여 평가하고, 적절한 사용시간 설정의 중요성에 대해서 논하였다[11].

Park 외 5명은 안구의 사전 준비운동과 불편함의 연관 관계에 대해서 실험을 수행하였으며, 다양한 사전 조건에 따른 실험 결과를 통하여 안구의 사전 준비운동을 통해 불편함을 줄일 수 있다는 것을 보였다[12].

한국가상증강현실산업협회에서는 실제 AR/VR 콘텐츠 사용 시 불편함에 영향을 줄 수 있는 다양한 항목을 조사하고 각 항목에 대한 평가 기준을 제안하였으며, 이를 바탕으로 사용성에 문제가 없는 AR/VR 콘텐츠 제작을 위한 가이드라인을 제안하였다[13].

한국정보통신기술협회에서는 멀미 저감을 위한 AR/VR 콘텐츠 제작 지침을 발표하였으며, 해당 문서를 통해 멀미에 영향을 주는 다양한 항목을 나열하고, 콘텐츠 제작 시 유의해야 할 점을 제시하였으며, 이를 통하여 멀미를 피하기 위해 콘텐츠가 가져야 할 상세 특성 목록을 작성하였다[14].

기존의 연구는 다양한 관점에서 사용자가 원활히 사용할 수 있는 AR/VR 콘텐츠의 특성에 대해 다루어 왔다. 그러나 기존의 연구는 특정한 부분에 집중한 연구를 수행하거나, 사용성에 관련된 다양한 요인을 모아 제시하는 데 그쳐왔다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 기존의 연구에 관한 내용을 종합하여 사용성을 평가하기 위한 통합 평가체계를 작성하고, 이를 자동으로 수행하기 위한 프로토타입 시스템의 구축을 수행하였다.

### 3. 사용성 평가체계 및 프로세스

본 연구에서 제시하는 사용성 평가체계는 Fig. 1과 같다. 제안된 평가체계에서는 (a) AR/VR 콘텐츠의 평가 기준 분류 및 콘텐츠 제작 방법을 바탕으로 도출된 평가 항목과 (b) 이들 평가 항목별 평가 수행 및 종합적 결과 도출을 위한 평가 프로세스가 핵심적 부분에 해당한다.

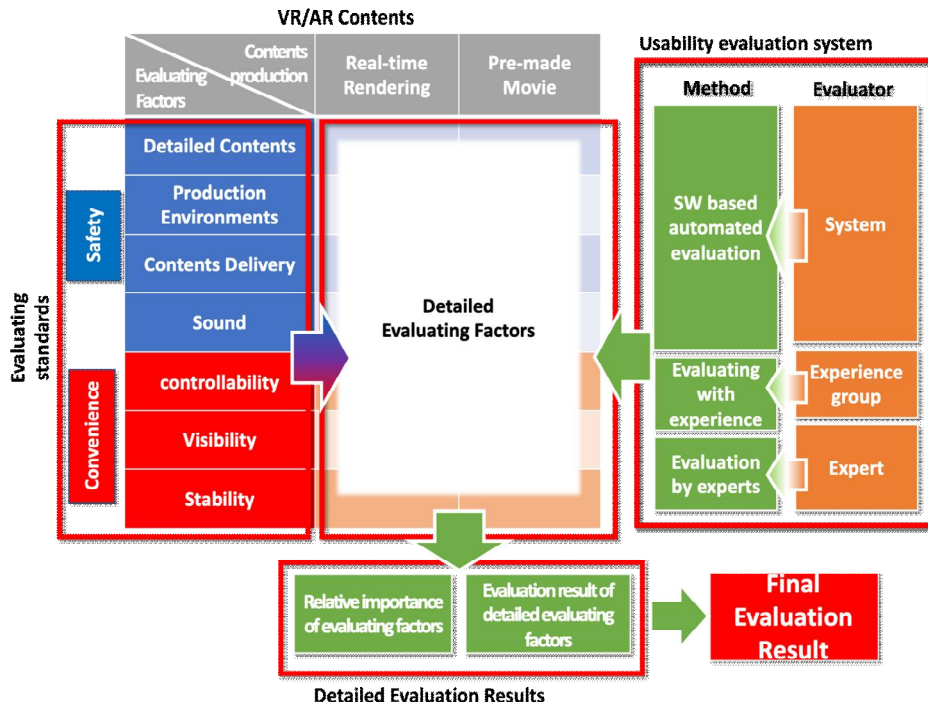


Fig. 1. Usability Evaluation System

AR/VR 콘텐츠의 사용성은 콘텐츠의 다양한 요소에 의해 영향을 받으므로, 이들 요소를 고려하여 종합적인 평가를 수행하여야 한다. 이를 위하여 Table 1에 제시된 바와 같이, 평가 기준을 우선 안전성과 편의성으로 분류하고, 다수의 평가요소로 세분화한 후 각 평가요소에 대하여 다양한 평가 항목을 정의하는 계층적 분류체계를 적용하였다. 평가항목별 세부적인 평가방법은 다음의 4장과 5장에서 다룬다.

Table 1. Detailed Category of Usability

Category	Factor	Details
Safety	Detailed Contents	Detailed structure of content and level of user consideration
	Production env.	Production environments of content
	Contents Delivery	HMD and supporting HW's performance to deliver content to users
	Sound	Sound system of contents
Convenience	controllability	Controllability of contents and UI
	Visibility	Visibility of contents and UI
	Stability	Stability of UI

AR/VR 콘텐츠는 제작 방법에 따라 동영상 기반의 콘텐츠와 실시간 렌더링 기반의 콘텐츠로 구분할 수 있다. 동영상 기반의 콘텐츠는 사전에 촬영된 영상을 바

탕으로 제작되므로, 주로 촬영 환경에 관련된 '안전성'의 '제작 스펙' 평가요소에 해당하는 평가 항목들과 상대적으로 높은 연관성을 가지지만, 실시간 렌더링 기반의 콘텐츠는 사용자가 콘텐츠를 이용하는 시점에 영상이 작성되므로, '콘텐츠 송출' 평가요소에 해당하는 평가 항목들과 높은 연관성을 가지는 차이점이 있다. 이러한 특성을 고려하기 위하여 평가체계의 정의에 있어 콘텐츠 제작 방법을 반영하였다.

각 평가요소에 따라 정의된 평가 항목은 다양한 방법을 통하여 평가된다. 본 연구에서는 가능한 많은 평가 항목에 대하여 전문가와 체험단의 개입 없이 시스템에 의한 자동 평가가 가능하도록 평가 항목에 대한 평가 내용 및 평가과정 등을 정의하였고, 자동 평가가 어려운 평가 항목에 한정하여 전문가와 체험단의 개입에 의한 평가 내용 및 평가과정 등을 함께 정의하였으며, 두 가지 모듈을 반영한 시스템 프로토타입을 구현하였다. 평가과정에 참여하는 전문가는 AR/VR 콘텐츠 개발 분야 및 관련 분야에서 3년 이상의 경험을 쌓은 사람으로 한정하여, AR/VR 분야의 전문지식이 적용될 수 있도록 하며, 3명 이상의 전문가가 참여토록 하여, 의견을 편중을 막도록 한다.

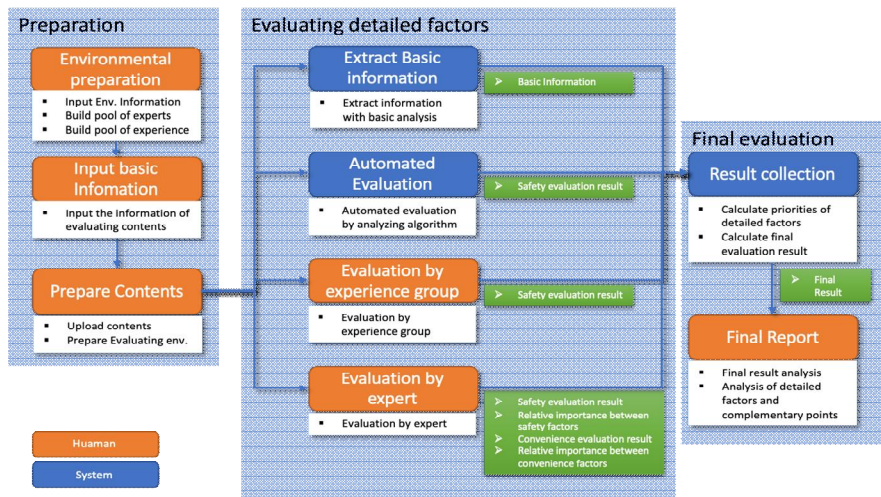


Fig. 2. Process of Usability Evaluation System

그리고 평가항목별 상대적 중요도에 대한 전문가 의견을 바탕으로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 산출한 가중치를 적용하여 평가항목별 평가 결과를 종합하여 최종 평가 결과를 산출한다. 이에 대한 보다 자세한 설명은 6절에서 다룬다.

각 평가 항목에 대한 평가과정 뿐 아니라 제시된 평가체계를 바탕으로 수행되는 전체 평가 프로세스는 Fig. 2와 같다. 제시된 평가 프로세스 역시 프로토타입 구현에 반영되었다.

#### 4. 안전성 관련 요소의 평가

안전성 평가를 위한 평가요소별 평가 항목은 다음 Table 2와 같다. 평가항목별 평가 결과의 정량화를 위하여 항목별 최저 기준과 최고 기준(만점으로 100점)을 설정하고, 측정치에 대한 기준 구간에서의 환산값을 구하는 보간법(Interpolation)을 적용한다.

자동 평가 시에는 콘텐츠를 자동 재생해야 할 부분이 존재하는데, 이를 위한 조작이 필요할 경우 이에 대한 조작 시나리오를 준비하여 사람의 조작 없이 평가할 수 있도록 하였다.

Table 2. Categories of factors that affect the safety of AR/VR content

Factors	Detailed Factors	Details	Category	Eval. method
Detailed Content	User consideration	Degree of user consideration	Contents	manual
	Contents organization	Method of delivering information from content to users		system/ manual
	Usage Time	Proper usage time that does not cause discomfort		system
Production Environments	Camera movement	Camera movement within the content		system
	Rig organization	Position, rotation axis, and position of binocular cameras	Technical	manual
	Field of view	The range of the scene presented by the display		system
	Resolution	Resolution of display		system
Contents Delivery	Latency	Delay time for recognizing the user's manipulation and head movement and displaying it on the display		system
	Frame Rate	HMD display update cycle		system
	Stitching	Errors in framing images from multiple cameras		system
	Vertical synchronization	Setting to force synchronization of the refresh rate and update rate of the screen		system
	3D effect optimization	Matching of the tilt, vertical position and proportion of binocular cameras for 3D effect		system
Sound consistency		Whether the video of the content and the movement of the user match the sound		manual

#### 4.1 Latency(지연 시간)

지연 시간은 AR/VR 콘텐츠가 입력 장치와 HMD를 통해 사용자의 조작 및 머리의 움직임을 인지하여 디스플레이에 표시하기까지 걸리는 지연 시간으로서, SW 부분에서 영상을 전달하기까지의 지연 시간과 디스플레이에서의 영상 표시 지연을 더한 값으로 정의된다. 많이 사용되는 상용 AR/VR 헤드셋의 경우, 고유 지연 시간이 알려져 있으므로, 본 연구에서는 SW의 지연 시간 측정에 집중하였다. 측정은 제작 방법에 따라 다음 Table 3에서 제시된 과정을 거쳐 수행된다.

**Table 3. Evaluation Process for Latency**

No.	Rendering based	Movie based
1	Select 10 points in AR/VR contents randomly.	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Play selected points for 5 minutes automatically.</li> <li>- Measure rendering delays every 0.1 seconds.</li> <li>- Apply scenario-based automatic control</li> </ul>	Measure delay time between command and actual play in the selected point.
3	Calculate the latency of the played point by adding SW delay time to HMD delay time.	
4	Average all calculated delays to make the final measurement.	

측정 결과, 지연 시간이 20ms 이하라면 만점을 부여하며, 60ms를 초과하면 0점을 부여한다 [11].

#### 4.2 프레임 율(Frame Rate)

프레임 율은 디스플레이가 단위 시간당 보여주는 세로운 화상의 수를 나타낸다. 프레임 수치가 너무 낮아져 점멸융합주파수와 임계융합주파수 이하가 되면, 사용자가 콘텐츠의 깜빡임을 인지하게 되어 불편함이 발생하게 된다. 프레임 율은 소프트웨어를 통해서 자동으로 측정하며, 소프트웨어 측면에서의 갱신과 디스플레이 측면에서의 갱신을 모두 고려하여 다음 Table 4와 같은 과정을 통해 측정한다.

**Table 4 Evaluation process for Frame Rate**

No.	Rendering based	Movie based
1	Check the frame rate of display of HMD.	
2	Select 10 points in AR/VR contents randomly.	Extract frame rate information from the header.
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Play selected points for 5 minutes automatically.</li><li>- Measure frame rate every 0.1 seconds.</li><li>- Apply scenario-based automatic control</li></ul>	
	Average all frame rate to make the final measurement.	
3	Apply low value as the final frame rate.	

측정 결과, 프레임 율이 90fps를 초과하면 만점을 부여하고, 30fps 이하라면 0점을 부여한다 [11].

#### 4.3 스티칭 최적화

스티칭은 콘텐츠 제작 시, 여러 카메라의 화상을 짜 맞추는 과정으로서, 해당 과정에서는 Ghosting, Blur, Color Distortion, Geometric의 오류가 발생하게 된다. 이는 영상의 위치 맞춤의 실패, 색상 맞춤의 실패, 크기 맞춤의 실패 등으로 인해서 발생한다. 실시간 렌더링에 의한 콘텐츠의 경우, 여러 카메라의 영상을 짜 맞추는 스티칭 과정 없이 360도 영상을 제작하므로 스티칭 오류를 고려할 필요가 없고 동영상 기반 콘텐츠에서만 이를 고려한다. 본 연구에서는 기존의 스티칭 오류 검출 알고리즘을 적용하여 다음 Table 5와 같이 평가한다.

**Table 5.Evaluation Process for Stitching**

No.	Rendering based	Movie based
1	None	Select 10 points in AR/VR contents randomly.
2		Apply stitching error detection algorithm and calculate the area contains stitching error
3		Average all calculated areas to make the final measurement.

측정 결과, 스티칭 오류가 발생한 부분의 면적이 전체 화면의 1% 이하일 때 만점을 부여하고, 10%를 초과하면 0점을 부여한다[13,14].

#### 4.4 화각(Field of View)

화각은 콘텐츠가 표현하는 시야의 각도이다. 화각의 세부 유형으로 가상 카메라의 화각(cFoV)과 디스플레이의 화각(dFoV)이 존재하며, 불일치가 발생하면 물리적인 시야 범위와 콘텐츠에서 표시하는 시야 범위의 차이가 생겨 불편함이 발생하게 된다. 또한, cFoV가 급속하게 변화하는 경우, 평상시와는 다른 시야의 변화로 인하여 불편함이 있을 수 있다. 화각으로 일어날 수 있는 안전성 문제는 소프트웨어를 통하여 다음 Table 6의 과정에 따른 측정을 통해 cFoV와 dFoV의 차이에 관한 결과와 cFOV의 변화 속도에 관한 결과의 2가지 결과를 측정한다.

Table 6. valuation Process of FoV

No.	Rendering based	Movie based
1	Check the FoV value of HMD's display	
2	Select 10 points in AR/VR contents randomly.	Check the cFoV of shooting Camera.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Play selected points for 5 minutes automatically.</li> <li>- Measure cFoV every 0.1 seconds.</li> <li>- Apply scenario-based automatic control</li> </ul>	
	Average all FoV to make the final measurement.	

cFoV와 dFoV의 차이의 경우, 5도 이하일 때 만점을, 16도 이상일 때 0점을 부여한다. cFOV의 변화 속도의 경우, 변화가 없으면 만점을, 초당 최대 변화가 10도를 초과할 때 0점을 부여한다[2,3].

#### 4.5 수직 동기화

수직 동기화는 디스플레이의 주파수와 소프트웨어의 갱신 주기가 맞지 않으면 이를 강제로 맞추는 기술을 나타내며, 이 설정이 사용될 경우, 소프트웨어의 부하가 발생하여 영상의 처리에 악영향을 주는 경우가 있어 사용이 권장되지 않는다. 수직 동기화는 실시간 렌더링 기반의 콘텐츠에만 적용되며, 설정이 적용되었다면 0점, 적용되지 않았다면 만점을 부여한다 [11].

#### 4.6 해상도

콘텐츠가 제공하는 화면의 해상도는 화면의 현실감에 영향을 미치므로, 지나치게 낮은 해상도는 화면의 계단 현상 및 현실감의 저하를 발생시켜 불편함의 원인이 된다. 해상도의 경우, 디스플레이의 해상도와 콘텐츠의 해상도 중 낮은 수치를 평가에 사용한다. 해상도의 경우, 3840x2160 이상이면 만점을 부여하고, 1280x720 미만이면 0점을 부여한다 [13, 14].

#### 4.7 가상 카메라의 움직임

콘텐츠 내에서 사용자의 움직임과는 별도로, 콘텐츠 자체의 시나리오에 의해 사용자의 조작과는 무관하게 발생하는 가상 카메라의 움직임이 지나치면 크면 사용자가 불편함을 느낄 수 있다[9]. 가상 카메라의 움직임은 가상 카메라의 이동 속도와 카메라 흔들림의 빈도로

세분되어 평가되며, 추가로 가상 카메라의 강제 움직임이 존재하는 시간 비율을 평가에 포함하였다. 이는 Table 7에 제시된 과정을 통해 자동으로 측정이 수행된다.

Table 7. Evaluation Process of camera movement

No.	Rendering based	Movie based
1	Select 10 points in AR/VR contents randomly.	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Play selected points for 5 minutes automatically.</li> <li>- Measure the angle of camera every 0.1 seconds.</li> <li>- Apply scenario-based automatic control</li> <li>- Check existence of the warning message for sudden movement</li> </ul>	

카메라 이동 속도의 경우, 초당 50도가 넘는 카메라 이동의 횟수가 5회 미만이면 만점, 16회를 초과하면 0점을 부여한다 [4]. 카메라의 강제 이동은 사용자의 조작에 따르지 않는 강제 이동이 존재하는 시간의 비율을 측정하여 존재하지 않는다면 만점, 10%가 넘는다면 0점을 부여하였다. 이때 이에 대한 경고가 존재한다면 시간을 절반으로 나누어 계산하였다 [6]. 마지막으로 카메라 흔들림 빈도의 경우, 카메라 흔들림이 존재하는 시간의 비율을 계산하여 0인 경우 만점을, 모든 이용 시간에 존재한다면 0점을 부여한다 [7].

#### 4.8 연속 이용 시간

AR/VR 콘텐츠는 시각과 청각에 많은 자극을 주므로, 장시간 이용 시 사용자가 피로 및 불편함을 느끼기 쉽다. 따라서 콘텐츠를 제대로 이용하는 데 필요한 이용 시간의 조절이 필요하다. 연속 이용 시간은 일반적인 상황을 바탕으로 하는 시나리오에 의한 실행시간과 장시간 사용에 대한 경고 메시지의 여부를 통해 측정한다.

Table 8. Evaluation Process of Usage Time

No.	Rendering based	Movie based
1	Define the situation of normal usage of the AR/VR content.	Calculate expected usage time based on video playback time and branch
2	Select 10 parts in AR/VR contents randomly.	
3	<ul style="list-style-type: none"><li>- Play selected parts automatically according to normal usage.</li><li>- Measure the usage time.</li><li>- Apply scenario-based automatic control</li><li>- Check existence of the long time use warning message.</li></ul>	
4	Average all measured use times to make the final measurement.	

연속 이용 시간은 Table 8의 과정을 통해 측정하며, 측정 결과로 얻어진 평균 이용 시간이 15분 이하일 때 만점을 부여하고, 30분을 초과하면 0점을 부여한다. 또한, 30분을 초과하는 장시간 이용 시 경고 메시지 제시 여부를 확인하여, 제시되면 만점을, 제시되지 않으면 0점을 부여하였다[5,11].

#### 4.9 3D 효과 최적화

3D 콘텐츠 제작 시 양안에 대한 카메라 설정이 실제 시야와 일치하도록 해야 하는데, 이는 양안에 제시되는 영상이 실제 시야와 다를 때 사용자가 불편함을 느낄 수 있기 때문이다. 렌더링 기반 콘텐츠는 단일한 3차원 모델을 기반으로 영상을 만들어 양안에 맞추어 변형 후 각각 표시하는 방식으로 제작되므로 관련 불편함이 발생하지 않고, 실제 카메라로 제작되는 동영상 기반 콘텐츠에서만 관련 불편함이 발생한다. 3D 효과 최적화는 양안 카메라의 각도 차이, 영상 수직 일치도, 그리고 영상 크기 일치도로 세분될 수 있으며, Table 9에 제시된 과정에 따라 자동으로 측정이 수행된다.

Table 9. Evaluation process of 3d effect optimization

No.	Rendering based	Movie based
1	None	Select 10 points in AR/VR contents randomly and capture the image of both eyes.
2		Compare images of both eyes.

양안 카메라의 각도는 실제 시야와 일치하면 만점을, 5도 이상 차이가 나면 0점을 부여한다. 수직 일치도는 수직 차이 없이 일치하며 만점을, 영상 높이의 5% 이상 차이가 나면 0점을 부여한다. 마지막으로 영상 크기 일치도는 양안 영상 크기가 일치하면 만점을, 영상의 크기 비율이 1.1배를 넘으면 0점을 부여한다 [5].

#### 4.10 콘텐츠의 전달

AR/VR 콘텐츠의 경우, 사용자의 시각 전부를 점유할 수 있으므로, 이를 통해서 다양한 정보를 전달하고자 하는 경우가 많다. 하지만 이들 정보의 양이 너무 많은 경우, 사용자가 이를 따라가지 못하거나 혼란함을 느껴 사용에 불편함을 느낄 수 있다. 따라서 콘텐츠가 전달하고자 하는 정보량이 얼마나 많은지, 정보의 전달이 얼마나 효율적인지가 평가에서 고려되어야 하므로,

정보의 양과 정보 전달의 효율성의 두 항목을 모두 평가한다. 정보의 양에 대해서는 Table 10의 과정에 따라 자동으로 측정하여 그 결과값을 평가치로 활용하고, 상호작용을 고려한 정보 전달의 효율성은 Table 11의 과정에 따라 체험단이 참여하는 측정 결과를 활용하여 평가치를 산출한다.

Table 10. Automated Evaluation Process of contents organization

No.	Rendering based(Unity)	Movie based
1	Make the list of objects with the physics attribute.	None
2	Select 10 points in AR/VR contents randomly.	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Play selected points for 5 minutes automatically.</li> <li>- Count the number of objects with the physics attribute.</li> <li>- Apply scenario-based automatic control</li> </ul>	
4	Average all counting to make the final measurement.	

Table 11. Manual Evaluation Process of contents organization

No.	Rendering based	Movie based
1	Select 3 parts in AR/VR contents randomly.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subject experiences selected parts 5 minutes.</li> <li>- After the experience, the subject's learning level is evaluated through a brief evaluation of the content.</li> </ul>
2		
3	Average all test result to make the final measurement.	

정보의 양 평가에서는 자동화된 측정 결과를 사용하여 시야에 들어오는 상호작용이 가능한 물리 속성을 지닌 객체의 평균 개수가 5개 이하면 만점을, 9개를 초과하면 0점을 부여한다. 또한, 체험을 통한 정보 전달의 효율성 측정값은 리커트 스케일로 주어지며, 이를 만점 기준으로 환산하여 세부 평가 결과로 사용하고, 종합평가에 적용한다 [7,11].

#### 4.11 바이노럴 사운드

바이노럴 사운드는 머리의 움직임이나 콘텐츠 내부의 상황에 따라 양측 귀에 들리는 소리를 달리하는 기술로서, 이 부분이 미비할 경우 영상과 소리가 맞지 않아 위화감으로 인한 불편함이 발생할 수 있다[13,14]. 체험단에 의해 Table 12의 과정에 따라 평가가 수행되



며, 기본적으로 7단계 리커트 척도(Likert Scale)를 적용한다.

Table 12. Manual Evaluation Process of Binaural Sound

No.	Rendering based	Movie based
1	Select 3 parts in AR/VR contents randomly.	
2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Subject experiences the selected part 5 minutes.</li><li>- While performing the yawing, rolling, and pitching of the head at three speeds, check the change in the sound of both ears</li></ul>	None
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Perform various movements within the contents and check for changes in sound</li><li>- Check the change of sound according to the movement of the object inside the contents</li></ul>	
3	Evaluate the experience through a 7-likert scale, and collect all evaluations to derive the final result.	

평가 항목은 사용자의 머리 움직임에 따른 양 귀의 소리 변화와 콘텐츠 내부의 상황 변화에 따른 양 귀의 소리 변화의 두 항목이다. 바이노럴 사운드의 수준 측정은 사용자의 직접 체험 후 평가를 통하여 이루어지며, 양 귀의 소리 변화가 콘텐츠 내용 및 사용자의 움직임과 일치하는지를 평가한 결과를 바이노럴 사운드 측정 결과 사용한다. 결과는 리커트 스케일로 주어지며, 리커트 스케일로 주어진 측정값을 만점 기준으로 환산하여 세부 평가 결과로 사용하고, 종합평가에 적용한다.

#### 4.12 오디오 싱크

콘텐츠의 내용과 소리의 발생 시점이 일치하지 않는 경우, 영상의 이해가 어려워지고, 위화감이 발생하여 이용에 불편함이 발생할 수 있다[13,14]. 이 부분의 평가는 사용자의 조작에 따른 소리의 발생과 콘텐츠의 내용에 따른 소리의 발생의 두 항목으로 나뉘어 평가되었으며, Table 13과 같은 체험과정을 통하여 수행한다.

Table 13. Manual Evaluation Process of Audio Sync

No.	Rendering based	Movie based
1	Select 3 parts in AR/VR contents randomly.	
2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Subject experiences the selected part 5 minutes.</li><li>- Evaluate a match of speaking persons and their sound in the contents</li><li>- Evaluate a match of moving objects and their sound in the contents</li></ul>	None
	Evaluate a match of operations of user and the sound of operation in the contents.	
3	Evaluate the experience through a 7-likert scale, and collect all evaluations to derive the final result.	

체험 결과를 통하여 사용자의 조작과 그에 의해서 발생하는 소리의 발생 시점의 일치 여부 및 콘텐츠 내에서 발생하는 상황과 그에 따라 발생하는 소리의 발생 시점의 일치 여부를 평가하며, 기본적으로 7단계 리커트 척도(Likert Scale)를 적용하고, 평가 결과를 만점 기준으로 환산하여 종합평가에 적용한다.

#### 4.13 리그 구성

리그의 구성은 콘텐츠 제작 시 사용되는 카메라의 배치에 관한 내용이다. 카메라의 구성이 사용자의 신체적 특성인 양안의 거리 및 신장에 대한 고려가 부족하거나, 카메라의 회전축에 대한 설정이 맞지 않을 때 발생하는 불편함은 이용에 장애를 줄 수 있어, 이를 평가에 반영할 필요가 있다. 그러나 콘텐츠의 목적(교육, 체험 등) 및 내용에 따라 요구되는 입체감, 피사체와의 거리 및 카메라의 높이와 같은 평가 기준이 달라질 수 있으므로 공통의 기준값 설정이 어려워 자동 평가가 힘들다. 본 연구에서는 전문가에 의해 이 항목의 평가를 수행하되, 양안 카메라의 거리, 카메라의 회전 중심과 눈-패럴렉스 포인트 사이의 거리, 카메라의 평균 높이, 그리고 피사체와의 거리 등의 4가지 세부 평가 항목에 대한 전문가 평가를 바탕으로 리그 구성 평가 항목의 평가치를 산출한다 [5].

#### 4.14 사용자 배려

AR/VR 콘텐츠의 구성과 내용 및 콘텐츠를 처음으로 사용하는 신규 사용자를 위한 안내 등과 같은 부분도 사용자의 불편함에 영향을 줄 수 있어 평가되어야 하나, 이는 객관적으로 평가되기 힘든 부분이 있어 전문가의 평가를 거쳐야 한다.

이 평가 항목에서는 전문가의 평가를 통하여 콘텐츠에 익숙하지 않은 사용자의 적응을 돕는 튜토리얼의 수준, 콘텐츠 사용 전의 주변 환경 정리 및 준비운동과 같은 사용자 주변 환경의 배려 수준, 그리고 AR/VR의 강도를 고려한 구성이 사용자가 익숙해지는 정도를 고려했는지를 평가한다 [5,12].

### 5. 편의성 관련 요소 평가

편의성에 대한 평가는 사용자가 가장 많이 접하므로 가장 큰 영향을 주는 인터페이스에 집중하여 수행되는

데, 이는 사용자마다 다른 VR 사용 경험 및 주관적 판단이 평가에 큰 영향을 준다는 점과 시스템에 의한 자동화된 방법으로 측정하기 어려운 이유 등으로 본 연구에서는 설문지를 통한 전문가 평가를 통해 수행된다. 평가에 사용되는 설문지는 기존 UI의 평가과정에서 자주 이용되는 설문지를 AR/VR의 환경에 맞추어 개량한 것으로서 [8, 15], 다음 Table 14와 같은 질문 내용과 계층 구조를 가진다.

평가과정에서는 콘텐츠를 체험한 전문가가 각 평가 항목에 제시된 기준에 콘텐츠가 얼마나 잘 맞는지를 평가하여 부여한 점수를 시스템에 제공하여 시스템이 자동으로 취합하도록 한다.

## 6. 사용성 종합평가

사용성 종합평가 단계에서는 4장과 5장에서 설명한 과정을 거쳐 평가된 개별 평가 항목의 결과를 취합하여 최종 평가 결과를 산출한다. 최종 평가 결과는 개별 사용성 평가 항목의 평가 결과의 종합을 통해 콘텐츠의 통합 사용성 100점 만점 기준의 점수로 산출된다.

이를 위해서 전문가의 평가를 통하여 각 안전성과 편의성 평가 항목 및 질문 간의 쌍대 비교, 평가요소 간의 쌍대 비교, 안전성과 편의성 사이의 중요성 쌍대 비교를 통하여 전체 사용성에 대해 평가를 하기 위한 가중치를 계산한다. 가중치 산출 과정에서는 AHP 기법의 쌍대 비교 기반 가중치 선정법을 활용하였다.

Table 14. Hierarchy of Questions for UI evaluation

Evaluation factors		Questions
Controllability	Flexibility and efficiency	1. How simple is the head movement to manipulate the UI while wearing the HMD?
		2. How simple is the operation and controller operation for the input?
		3. How many different ways are there to do a single task?
	Controllable Range	1. To what extent is it possible to start or end content while wearing the HMD?
		2. How is it possible to change the settings of the HMD and contents while wearing the HMD?
		3. To what level can you manipulate content while wearing an HMD?
	Consistency	1. How consistent is the motion for input and control of the controller while wearing the HMD?
		2. How consistent is the motion for input and controller operation while wearing the HMD to start using the content and operating the content?
Visibility	System visibility	1. How much can you grasp the progress and current status of the content while wearing the HMD?
		2. How easy is it to grasp the user's location and orientation in virtual space?
		3. How much is it possible to understand the situation outside the content and outside the HMD while wearing the HMD?
	Consistent with Reality	1. How consistent is the language or icon of the UI with reality?
		2. How much is the same language or icon for UI manipulation consistent with reality?
	Simple Design	1. How much extra head movement is needed for UI manipulation while wearing HMD?
		2. How clear is the distinction between content and UI for manipulation?
Stability	Mistake and accident prevention design	1. How confusing is the operation for input and control of the controller while wearing the HMD?
		2. How far can the user know the result of the input while wearing the HMD?
		3. How many warnings are there for giving a hard-to-revert order?
		4. How low is the risk of safety accidents due to external circumstances while wearing an HMD?
	Error countermeasure	1. In the event of an error, how far is the recovery possible while wearing the HMD?
		2. When an error occurs, how far can the situation be grasped while wearing the HMD?
	User help	3. If the motion input assumed during development is not recognized, how much are the means to replace it?
		1. How much do you get help while wearing an HMD?

안전성의 경우, Table 15와 같은 계층 구조에 기반하여 같은 분류 안의 평가 항목 및 평가요소의 쌍대 비교를 수행하였고, 이를 통하여 각 평가 항목의 가중치, 평가요소의 가중치를 계산하였다. 그리고 4장의 과정을 통하여 얻은 개별 평가 항목의 평가 결과의 가중합을 계산하여 안전성 최종 평가를 도출한다.

Table 15. Hierarchy of Safety Factors

Factors		Detailed Factors
Detailed Content	User consideration	Level of tutorials
		Level of consideration of the user environment
		Content organization level considering AR/VR intensity
	Contents organization	Quality of contents
		Number of interacting objects
	Usage Time	Average usage time
		Whether overtime warnings exist
Production Environments	Rig organization	Distance of both eye cameras
		Distance between center of rotation and no parallax point
		Average camera height
		Average distance to subject
	Camera movement	Maximum moving speed
		Forced head travel time ratio
		Presence of natural trembling
	Field of view	Difference between dFoV and cFoV
		Changing speed of cFoV
Contents Delivery	Resolution	
	3D effect optimization	Difference in angle of binocular camera
		Difference in height of binocular camera
		Difference in scale of binocular camera
	Frame Rate	
	Stitching	
Sound consistency	Vertical synchronization	
	Latency	
	Binoral Sound	Whether the sound changes in both ears according to the user's head movement match
		Whether the sound of both ears matches the change in the content
	Sound synchronization	Whether the timing of the change in the content and the sound that occurs is consistent
		Whether the timing of the user's operation and the sound generated is consistent

편의성의 종합평가는 5장에서 서술한 과정을 따라 얻어진 개별 질문의 평가 결과에, 평가 질문 및 분류 계층 간의 쌍대 비교를 통하여 얻은 가중치를 적용하여 수행된다.

그리고 마지막으로 편의성과 안전성 중 무엇이 중요한지를 비교한 쌍대 비교 결과를 통하여 편의성과 안전성의 가중치를 산출하고, 이를 적용한 최종 사용성 평가치를 도출한다.

## 7. 프로토타입 시스템의 구축

본 연구에서 제안한 평가체계는 자동 평가를 통한 부분의 비중이 높으므로, 본 연구에서는 프로토타입 시스템의 구축을 통하여 이를 검증하였다.

프로토타입 시스템은 Unity 엔진에 기반하여 작성된 AR/VR 콘텐츠와 동영상 콘텐츠에 적용할 수 있도록 구축되었으며, 구축된 시스템은 콘텐츠의 업로드에서 시작하여 자동 평가를 수행하고, 수동 평가의 결과 입력을 받아 및 최종 결과를 도출하는 과정을 모두 수행한다.

자동 평가의 경우, 시스템에 업로드된 콘텐츠를 자동으로 재생 및 실행한 후, 시나리오에 따른 입력을 자동으로 입력하며 자동 측정 항목에 대한 평가를 수행한다. 이때 시스템 내부의 정보를 얻기 위해서는 내부 코드의 정보가 필요하므로, AR/VR 콘텐츠의 프로그램 코드에 본 프로토타입 시스템의 플러그인을 삽입하여 프로그램의 실행을 모니터링하는 방식을 적용하였다. 다음 Fig. 3은 이를 통한 자동 측정을 수행하는 시스템 화면으로서, Frame Rate, Latency, 상호작용 물체의 개수에 관한 정보를 수집하는 장면이다.

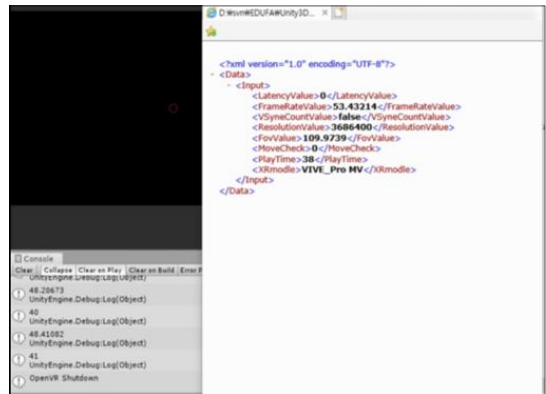


Fig. 3. Automatic Evaluation Part of Prototype System

이와 동시에 체험단의 평가를 통한 체험 평가 결과와 전문가 평가의 결과를 취합하여 이를 시스템에 입력

하고, 안전성 평가 항목 및 요소와 편의성 평가 질문 항목 간의 쌍대 비교 결과를 입력받는다. 다음 Fig. 4는 이런 결과를 입력받는 시스템 화면이다.

Fig. 4. Manual Evaluation of Prototype System

그리고 이렇게 취합한 결과를 모두 모아 개별항목의 가중치를 계산하고, 계산 결과에 따라 최종 평가치를 도출한다. 다음 Fig. 5는 최종 결과를 표시하는 시스템의 화면이다.

Fig.5. Result Calculation Part of Prototype System

프로토타입 시스템의 구축 및 실험 결과, 본 연구에서 제시한 평가체계의 원활한 작동을 확인하였다. 그리고, 완성된 프로토타입을 통해 체험단에 의한 콘텐츠 평가를 수행하였다.

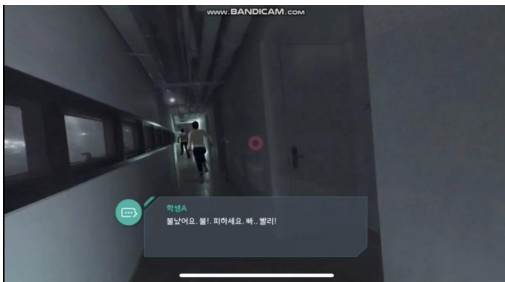


Fig. 6. Example contents to evaluation

평가 대상인 콘텐츠는 Fig. 6에 제시된 형태의 안전 교육 콘텐츠이며, Table 16에 평가 결과를 요약하여 제시하였다.

Table 16. Result of experiment

Category			Result	Priority	Result	Priority	
Safety	Detailed Content	User consideration	68.78	0.44	75.42	0.35	
		Contents organization	88.42	0.39			
		Usage Time	62.86	0.17			
	Production Environment	Rig organization	68.78	0.10	65.89	0.21	
		Camera movement	60.60	0.77			
		Field of view	81.78	0.02			
		Resolution	98.00	0.11			
	Contents Delivery	3D effect optimization	72.68	0.10	97.16	0.33	
		Frame Rate	100.00	0.34			
		Stitching	100.00	0.49			
		Vertical synchronization	100.00	0.04			
		Latency	100.00	0.03			
	Sound consistence	Binoral Sound	93.72	0.68	89.72	0.11	
		Sound synchronization	81.41	0.33			
	Result			82.13			
	Priority			0.51			
Usability	Controllability	Flexibility and efficiency	82.14	0.43	74.11	0.01	
		Controllable Range	91.41	0.19			
		Consistency	57.14	0.39			
	Visibility	System visibility	60.21	0.11	91.95	0.60	
		Consistent with Reality	86.69	0.27			
		Simple Design	100.00	0.62			
	Stability	Mistake and accident prevention design	85.56	0.02	66.52	0.40	
		Error countermeasure	65.11	0.83			
		User help	71.43	0.15			
	Result			81.74			
	Priority			0.49			
Result			81.94				

체험단의 평가를 통해 시스템을 활용한 평가가 원활하게 수행될 수 있음을 확인할 수 있다. 평가 과정에서 대상 콘텐츠의 교육적 목적이 반영된 결과인 80점

을 초과하는 값을 얻었으며, 이는 대상 콘텐츠가 안전 교육을 위한 것으로, 급격한 움직임 등이 적어 좋은 평가 결과를 얻은 것으로 보인다.

## 8. 결론

가상현실 관련 기술의 발전과 AR/VR 기기의 대중화로 인하여, AR/VR 콘텐츠 산업의 성장이 가시화되고 있으나, 콘텐츠의 사용성에 관한 문제가 확산에 걸림돌이 되고 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위하여 AR/VR 콘텐츠의 사용성 평가를 위한 평가체계 구축을 시도하였다.

평가체계는 사용성에 영향을 주는 개별항목을 나열하고, 항목별 평가를 수행한 후 이를 종합하여 최종 사용성을 도출할 수 있도록 제안된 평가 프로세스를 지원할 수 있도록 구축되었으며, 이와 함께 개별항목의 자동 평가 및 수동 평가를 수행하는 프로토타입 시스템을 개발하였다.

AR/VR 콘텐츠의 사용 시 발생하는 불편함에 관한 다양한 연구가 존재했으나, 본 연구와 같은 종합평가를 수행하기 위한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구에서 제시한 사용성 종합평가를 위한 체계와 이를 자동으로 수행하기 위한 평가 프로세스는 향후 AR/VR 콘텐츠의 사용성 개선에 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이를 통한 콘텐츠의 매출 증대 및 양질의 콘텐츠 제작에 이바지할 수 있을 것으로 예상되며, 나아가 AR/VR 산업의 진흥에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구에서는 현재 수동 평가를 통하여 평가하는 평가 항목 중 자동으로 평가되는 항목의 비중을 늘리고, 연관 평가 항목의 범위를 확장하고 상세화된 평가 체계의 개선이 필요하다. 더불어 개별항목 사이에서 발생할 수 있는 연관성 분석 및 반영 메커니즘을 정의하고, 이를 평가 프로세스에 반영하는 개선이 이루어질 경우 보다 정확하고 현실적인 평가 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum & M. G. Lilienthal, (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203-220.
- [2] N. Kala, K. Lim, K. Won, J. Lee, T. Lee, S. Kim & W. Choe. (2017). P-218: An Approach to Reduce VR Sickness by Content Based Field of View Processing. In *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 48(1), 1645-1648.
- [3] N. Norouzi, G. Bruder & G. Welch. (2018). Assessing vignetting as a means to reduce VR sickness during amplified head rotations. In *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception* 19.
- [4] N. Tanaka & H. Takagi. (2004). Virtual reality environment design of managing both presence and virtual reality sickness. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 23(6), 313-317.
- [5] R. Yao, T. Heath, A. Davies, T. Forsyth, N. Mitchell & P. Hoberman. (2014). *Oculus vr best practices guide*. Oculus VR, 4.
- [6] H. G. Kim, W. J. , Baddar, H. T. Lim, H. Jeong & Y. M. Ro. (2017). Measurement of exceptional motion in VR video contents for VR sickness assessment using deep convolutional autoencoder. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. 36..
- [7] T. M. Porcino, E. Clua, D. Trevisan, C. N. Vasconcelos & L. Valente. (2017). Minimizing cyber sickness in head mounted display systems: design guidelines and applications. In *2017 IEEE 5th international conference on serious games and applications for health (SeGAH)* (pp. 1-6). IEEE.
- [8] N. Norouzi, G. Bruder & G. Welch. (2018). Assessing vignetting as a means to reduce VR sickness during amplified head rotations. In *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception* 19.
- [9] T. Weißker, A. Kunert, B. Fröhlich & A. Kulik. (2018). Spatial updating and simulator sickness during steering and jumping in immersive virtual environments. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3d User Interfaces (VR)*. 97-104.
- [10] E. J. Song & A. R. Jeong. (2017). A Study for Reducing of Cyber Sickness on Virtual Reality. *Journal of Digital Contents Society*, 18(3), 429-434.
- [11] S. R. Serge & J. D. Moss. (2015). Simulator

sickness and the oculus rift: a first look. *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 761-765.

- [12] W. D. Park, S. W. , Jang, Y. H. , Kim, G. A. Kim, W. Son & Y. S. Kim. (2017). A study on cyber sickness reduction by oculo-motor exercise performed immediately prior to viewing virtual reality (VR) content on head mounted display (HMD). *Vibroengineering PROCEDIA*, 14, 260-264.
- [13] Korea VR/AR Industry Association. (2018). *Best practices for VRAR use and applications*. Seoul: Korea VR/AR Industry Association
- [14] Telecommunications Technology Association. (2017). *Head Mounted Display based Virtual Reality Content Production Guide for Reducing of Virtual Reality Sickness*. Seoul : Telecommunications Technology Association
- [15] J. Nielsen & R. Molich. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. *In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 249-256.

#### 한 수 민(Sumin Han)

[정회원]



- 2010년 2월 : 서울대학교 산업공학과(공학사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 석박통합과정
- 관심분야 : 생산성, 물류, 가상현실
- E-Mail : hans8501@snu.ac.kr

#### 정 한 일(Hanil Jeong)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 산업공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 산업공학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 서울대학교 산업공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : VR 사용성 평가, 빅데이터, 보안
- E-Mail : hijeong@dju.ac.kr

#### 이 회 준(Hoejun Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 대전대학교 컴퓨터공학과(이학사)
- 2019년 8월 : 충남대학교 산업시스템공학과(공학석사)
- 관심분야 : XR, AI, 빅데이터
- E-Mail : leehoejun@k3i.co.kr

#### 이 재 영(Jaeyoung Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 계명대학교 도시공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 계명대학교 도시공학과(공학석사)
- 1999년 12월 ~ 현재 : ㈜케이쓰리 아이 대표이사/연구소장

- 관심분야 : XR, 인공지능/딥러닝
- E-Mail : mozart@k3i.co.kr