Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 3 pp. 190-198, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.190
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

도시철도시설 성능평가 시뮬레이션 구현을 위한 기초 연구

강고운[1], 정인수[1*], 김정렬[2], 서명배[3]
[1]한국건설기술연구원 건설산업고도화센터, [2]인하대학교 건축공학과, [3]한국건설기술연구원 건설자동화연구센터

Preliminary Study on the Simulation for Urban Railway Facility Performance Assessment

Goune Kang[1], Insu Jung[1*], Jung-yeol Kim[2], MyoungBae Seo[3]
[1]Construction Industry Innovation Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[2]School of Architecture (Architectural Eng.), Inha University
[3]Construction Automation Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 노후화율이 19.7%인 국내 도시철도에 대한 개량투자계획을 수립하기 위해서는 성능평가가 선행되어야 한다. 최근 관련법에서 제정된 성능평가는 데이터 획득 및 평가에 소요되는 시간 및 노력이 과다하다고 지적되고 있다. 이에 본 연구는 철도시설의 성능평가를 위한 교육용 컨텐츠로 활용하기 위하여 가상현실(VR) 기법을 적용한 성능평가 시뮬레이션 프로토타입을 개발하였다. 이를 위해 기존연구 고찰을 통해 어려운 환경에서의 작업시간 단축을 위한 VR기법의 활용성을 확인하였다. 도시철도 전문가들을 대상으로 계층화분석법 설문조사 및 자문을 실시하였으며, 결과를 분석하여 성능평가 항목 및 도시철도 시설분류체계의 가중치를 확정하고 시뮬레이션을 위한 평가시트를 개발하였다. 평가시트를 기반으로 VR 기법을 이용하여 승강장 안전문의 성능을 평가하는 교육 컨텐츠 프로로타입을 개발하였다. 시스템은 HTC VIVE 장비로 구현하였으며, 6명의 플레이어를 대상으로 VR 시뮬레이션 테스트를 진행하였다. 개발된 프로토타입은 평가대상 시설물 정보의 시각적 확인에 충분히 장점이 있는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 향후 도시철도시설의 성능평가시 엔지니어가 실제 평가에 앞서 평가절차를 효율적으로 숙지하는데 도움을 줄 것으로 사료된다.

Abstract For domestic urban railways, which have a 19.7% aging rate, a performance evaluation is necessary to establish capital improvement investment plans. The performance evaluation, which was recently enacted in the relevant law, points out the excessive time and effort for acquiring data and evaluation. This study developed a performance evaluation simulation prototype using a virtual reality (VR) method to use as training contents for railway performance evaluations. The practical use of the VR technique to reduce the working time under poor environment conditions was confirmed through a literature review. A survey and consultation were conducted for urban railway experts to determine the weight of the performance evaluation items and the facility breakdown structure. This information was utilized to develop performance evaluation sheets for simulation. Based on the evaluation sheet, a training content prototype that evaluates the performance of platform safety doors was developed using VR techniques with HTC VIVE equipment. VR simulation tests were conducted for six players, and the prototype was sufficiently advantageous for a visual confirmation of the facility information. The result is expected to be useful for engineers to understand the performance evaluation process efficiently before an actual performance evaluation of urban railway facilities.

Keywords : Railway Facility, Performance Assessment, Simulation, Virtual Reality, Facility Management

본 논문은 2018년도 한국건설기술연구원 주요사업(과제명: 가상/증강현실 기반의 스마트 건설가상화 시뮬레이션 기술개발(과제번호: 20190117-001))으로 수행된 연구 결과의 일부임.
*Corresponding Author : Insu Jung(KICT)
email: jis@kict.re.kr
Received October 31, 2019 Revised January 8, 2020
Accepted March 6, 2020 Published March 31, 2020

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

대한민국은 1970년대부터 인프라 시설이 집중 공급되어 현재 상당수준의 노후화가 급진전될 시기에 이르렀으며, 준공된 지 30년 이상 경과한 노후 시설물은 향후에도 지속적으로 급증할 것으로 전망되고 있다 [1]. 2015년 말 기준으로 주요 아홉 가지 인프라 71,109개소 중에서 30년을 초과한 시설은 2,862개로, 전체시설 중 30년 이상 경과한 시설의 비중이 4.02%인 것으로 분석되었다 [2]. 또한 시설물의 안전관리에 관한 특별법의 1·2종 시설물 중 30년을 초과한 시설물은 2014년 말 기준 2,328개소로 9.6%이며, 이는 2024년에는 21.5% 수준으로 급속히 진행될 것으로 예측되고 있다 [3].

시설물의 생애주기 관리과정에서 노후화는 필연적으로 발생하는 현상이며, SOC 시설물 신설이 오랫동안 추진된 선진국에서는 이들을 효과적으로 관리하기 위한 다양한 투자 및 관리전략들이 제시되고 있다. 국내에서도 1970년대부터 시작된 SOC 시설물 건설로 노후 시설물이 일시에 대규모로 발생되어 국민안전 및 국가재정에 장애가 될 우려가 표명되고 있으며, 자산관리 개념을 고려하는 시설물 유지관리 체계가 필요한 시점이다 [4]. 이처럼 타당하고 합리적인 개량투자를 위해서는 성능평가 데이터의 축적 및 예측이 필요하며, 구조안전성 뿐 아니라 내구성, 사용성 등을 종합적으로 고려할 수 있는 다측면 성능평가가 선제적으로 수행되어야 할 것이다 [5].

최근 국가철도, 도시철도 등 일부 인프라 시설분야에서는 내구성, 안전성, 사용성을 포괄하는 성능평가체계를 마련하여 철도시설물의 성능평가에 적용중이다 [6,7]. 하지만 철도의 성능평가는 고압전류, 열차운행 등의 열악한 작업환경으로 인해 사고 위험이 항상 도사리고 있다. 더구나 도시철도는 대부분이 지하구간이기 때문에 미세먼지로 인한 작업환경이 매우 좋지 않다. 이에 실제 성능평가 이전에 미리 평가방법을 숙지하여 현장에서의 작업시간을 단축시킬 필요가 있다.

한편, 작업 시뮬레이션 도구로 가상현실(Virtual Reality, 이하 VR) 적용이 활발하다. VR 구현을 위하여 머리에 착용하는 디스플레이 장치인 Head Mounted Display(이하 HMD)의 몰입감과 시야각, 현장감이 날로 좋아져서 실제 시설물 유지관리를 위한 교육 컨텐츠 개발이 곳곳에서 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 VR을 활용하여 도시철도 시설물의 성능평가 시뮬레이션을 구현해 보고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

본 연구는 열악한 작업환경에서의 시설물 성능평가 작업시간을 단축하기 위하여 최근 교육도구로 각광받고 있는 VR기술을 활용하여 교육 컨텐츠를 개발하였다.

이를 위해 다음과 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

(1) 국내외 선행연구를 고찰하여 VR 기술이 건설분야 및 비건설분야에서 교육도구로써의 높은 가치를 확인하고 시사점을 도출하였다.

(2) 도시철도 성능평가의 개념과 평가항목을 분석하여 구현 대상 시스템의 본질을 파악하였다.

(3) 성능평가 방법 및 절차를 분석하여 교육 컨텐츠의 시간적 경과에 따른 기능을 도출하고 시스템 구현의 기초자료로 활용하였다.

(4) Unity 기반으로 VR환경을 구현하였으며, HMD는 HTC VIVE 장비를 이용하였다.

(5) 개발한 프로토타입의 개선점을 찾아 향후 실제 시스템을 개발하기 위해 도시철도 시설물 관리자를 대상으로 시뮬레이션을 하였다.

2. 선행연구 고찰

기존연구들에서는 이해관계자간 작업환경의 이해 및 공감에 기반한 효율적 의사소통 및 작업 자동화를 위하여 여러 분야에 걸쳐 VR의 적용 가능성을 타진하고 있다.

Edwards et al. [8]은 현재 BIM(Building Information Modelling)에 대해 설계자가 최종 사용자 및 고객과 효과적으로 상호작용을 할 수 있는 실질적 방법이 부족함에 착안, 게임 엔진을 사용하여 최종 사용자를 BIM 설계 프로세스에 포함시킬 수 있는 가능성을 보여주었다. 저자들은 직관적인 컨트롤, 몰입형 3D 기술, 다자간 네트워크 기능 등의 구현을 위하여 게임 엔진 기술을 적용하였다. 해당 연구에서 구축된 프로토타입 시스템은 BIM 및 게임 엔진을 통하여 최종 사용자를 의사결정 프로세스에 참여시킴으로서 보다 협업적인 양방향 설계 프로세스를 지원할 수 있는 잠재력을 보여주고 있다.

Grabowski and Jankowski [9]는 산업재해통계에서 밝혀진 것처럼 가장 위험한 것으로 평가되는 광업 분야의 안전 솔루션을 위하여 조이스틱과 VR 글러브 입력 방식을 연계하고 다양한 HMD 하드웨어 설정을 이용해 광부용 VR 교육 시뮬레이션을 시험하였다. 광업 종사자들을 대상으로 모션캡쳐 시스템, 시야(FOV, Field of view) 등에 있어 다양한 조건 하의 시뮬레이션 참여 후

의견조사를 수행하였으며, 그 결과 넓은 FOV와 결합된 높은 몰입형 VR이 교육을 위한 최상을 솔루션으로 평가되었다. 해당 연구의 실험결과는 광업 종사자들의 안전 등 기본 교육 및 훈련에 VR을 도입할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

Roupé et al. [10]은 도시계획 및 건축물 설계 분야의 VR 및 대화식 실시간 렌더링에 있어 인체를 사용한 가상환경과의 상호작용을 지원하는 인터페이스를 구축하였다. 이 연구에서는 키보드 및 마우스를 제어장치로 사용하는 시각화 대비, 신체의 움직임이 보다 활발한 상호작용을 통하여 탐색 성과 및 경험을 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 계획된 도시환경을 탐색하기 위해 Xbox Kinect 센서를 사용하는 시스템을 제안하였으며, 해당 시스템에서 체험자는 다양한 신체 자세(뒤로 젖힘, 어깨 돌림 등)를 이용해 도시의 VR 모델을 탐색할 수 있다. 연구결과 체험자들은 신체의 움직임을 사용할 때 도시환경을 더 잘 지각할 수 있었다.

Merchant et al. [11]은 교육의 결과와 관련하여 VR 기반 학습에 관한 다양한 기존 연구들을 분석하였다. 이 연구에서는 VR이 학습에 도움이 되는 많은 사례들을 보여주었으며, VR 기반 교육이 학습 성과를 향상시키는 효과적인 수단이라고 주장하였다.

Sampaio and Martins [12]는 서로 다른 두 가지 공법을 사용한 교량 건설을 시각화하는 VR의 적용에 대해 설명하였다. 이 시나리오의 목표는 안전상의 이유로 실제 건설현장에서 같은 수준의 통찰력을 가질 수 없기 때문에 학생들이 교량 건설 방식에 대해 더 깊이 이해할 수 있도록 하는 것이다. 저자들은 전통적인 교육 방식에 비해 3D 모델의 생성과 배치를 목표로 하였으며(언어설명, 그림, 도표 등) 상호작용이 VR을 사용하는 것의 주된 장점이라고 주장하였다.

Rüppel and Schatz [13]는 화재 시 대피 시뮬레이션을 위한 게임 환경의 조성에 대해 연구하였다. 이들은 BIM 데이터를 건물 모델링 개념의 기반으로 활용하고 구조적 손상을 시뮬레이션하기 위해 재료 데이터를 포함하였다. 이 연구에서 제시한 VR-Lab 개념은 이상적으로 대부분의 인간의 감각(시각, 촉각, 청각, 후각)을 사용할 수 있으며, 상호작용이 가능하도록 구축되었다.

Eschen et al. [14]은 항공산업의 검측 및 유지관리 프로세스에서 높은 비율의 수동 작업, 문서화를 위한 상당한 노력 필요 등을 지적하였으며, 이를 개선하기 위한 가상 및 증강현실 기술의 적용 가능성에 대해 논하였다. 이 연구에서는 VR기반 원격 검측, AR기반 유지관리 절차 가이던스 등의 개념들이 제시되었으며, 시설물의 점검, 진단 및 유지관리 분야에서 해당 기술들이 효과적으로 적용될 수 있음이 입증되었다.

기존 연구에서 살펴본 바와 같이 VR은 일상적으로 경험하기 어려운 환경을 직접 체험하지 않고서도 그 환경에 들어와 있는 것처럼 몰입감 있게 보여주고 더 나아가 가상에서의 컨텐츠 조작 및 상호작용을 지원한다. 또한 VR은 시간과 비용의 문제나 신체적인 문제를 극복하고 다양한 경험을 할 수 있게 도와준다. 건설현장은 작업여건이 매우 열악하기 때문에 작업자 안전 측면에서 VR의 활용도가 다른 조건에 비해 높은 것을 알 수 있다.

3. 도시철도시설 성능평가

3.1 철도시설 성능평가 개념

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제 2조 12항에서는 성능평가를 '시설물의 기능을 유지하기 위하여 요구되는 시설물의 구조적 안전성, 내구성, 사용성 등의 성능을 종합적으로 평가하는 것'으로 정의하고 있으며, 이는 시설물 성능평가의 다기준 의사결정 특성을 잘 보여준다. 철도시설의 성능평가 실시방법 및 절차 등에 필요한 사항을 정하고 있는 '철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침 [6]'에서는 평가부분(성능유형)별 성능의 개념을 정의하고 있다. 지침에 따르면 안전성은 '철도시설의 요구조건하에서 인명의 사상, 시설물의 손상과 손실을 방지하는 성능', 내구성은 '철도시설의 사용수명 동안 요구되는 기능을 유지시키기 위한 시설물의 성능', 사용성은 '철도시설의 사용과 수요 측면에서 적절한 편의와 기능을 제공하는 성능'을 의미한다.

3.2 평가항목 중요도 조사

철도시설의 성능평가 체계에서는 세 개의 평가부문하에 시설물 유형별로 평가항목을 설정한다. Table 1.은 안전성, 내구성, 사용성 부문별 평가내용 및 평가항목을 보여준다. 평가항목은 시설물별로 차이가 있는데, 예를 들면 구조물(교량, 터널 등)의 경우 안전성은 물리적 상태, 내진성능, 내구성은 열차 통과톤수, 경과년수, 사용성은 재해 발생횟수를 평가항목으로 갖는다.

이에 따라 도시철도의 성능평가에서도 평가항목의 계층적 구조를 적용할 수 있으며, 종합성능 도출을 위하여 각 계층별 중요도 설정이 필요하다. 평가항목의 중요도는

시설물 유형별 특성에 따라 다르기 때문에, 본 연구에서는 도시철도 시설물 관리자들을 대상으로 담당시설물에 대한 자문을 통하여 각 시설물 유형별로 합의된 평가항목의 중요도를 조사하였다. 조사 양식은 시설물 유형별로 작성되었으며, 평가부문 및 평가항목의 중요도 합이 100이 되도록 기입을 요청하였다. 조사방법으로는 소관 시설물 유형의 관리자들이 회의를 통하여 평가부문 및 평가항목별 단일의 합의된 중요도 값을 기입하도록 요청하였다. Table 2.는 중요도 조사결과 중 일부로, 도시철도 시설물중 구조물의 평가부문 및 항목에 대한 중요도 결과를 보여준다.

Table 1. Performance type and evaluation criteria for railway facilities

Performance type	Definition	Evaluation criteria
Safety	• Condition safety and structural safety of the facility	• Safety rating based on an inspection or precision diagnosis • Seismic performance
Durability	• Strength decline over time and aging of the materials of the facility	• Service life • Passing tonnage • Train speed • Rail abrasion
Usability	• The service level of the facility such as user convenience, operability, or functionality	• Number of visitors • Failure frequency • Disasters frequency • Replacement frequency for major part

Table 2. The results of the weights investigation in performance type and evaluation criteria for structure

Performance type	Weight	Sum	Evaluation criteria	Weight	Sum
Safety	40	100	Physical condition	60	100
			Seismic performance	40	
Durability	30		Passing tonnage	10	100
			Service life	90	
Usability	30		Disasters frequency	100	100

3.3 도시철도시설 중요도 조사

개별 시설물별 평가를 바탕으로 구간, 노선, 시설물 분류별 성능을 분석하기 위하여 시설분류체계를 기반으로 계층적 평가를 수행하였다. 이때 도시철도 시설분류체계는 기존 국가철도 시설분류체계를 기반으로 도시철도의 특성을 반영하여 일부 수정하였으며, 6개 대분류, 27개 중분류, 63개 소분류를 갖는 체계를 확정하였다. 대분류의 중요도는 계층화분석방법(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 통하여 조사하였으며, 도시철도 시설물 관리자들을 대상으로 웹기반 설문조사를 수행하여 18건의 응답이 수집되었다. 중분류 또한 웹기반 AHP 설문조사를 수행하였으며, 전술한 피설문조사자들이 관련 시설물만을 평가할 수 있도록 하였다. 이를 통해 구조물 10건, 궤도시설 9건, 건축물 10건, 전철전력 10건, 신호제어 9건, 통신 9건의 응답이 수집되었다. 소분류 이하의 수준에서의 중요도는 기술본부의 관련 시설물의 전문가들의 자문을 통하여 합의된 가중치를 조사하였다. 조사결과의 일부를 Fig. 1.에 나타내었다.

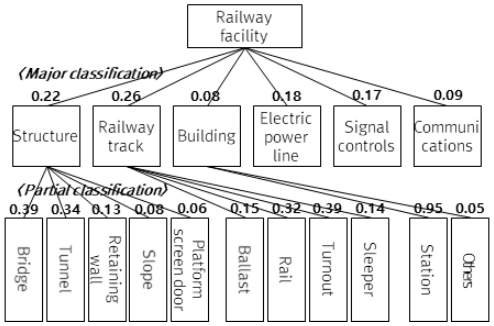


Fig. 1. Results of survey on importance of urban railway facilities

3.4 성능평가 방법

철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침 [6]에 따르면 철도시설에 대한 성능평가는 안전성, 내구성 및 사용성으로 구분하여 평가하여야 하며, 해당 지침에서는 시설물 유형별 평가부분, 평가항목 및 기준에 대하여 제시하고 있다. 예를 들어 대분류 구조물 중 승강장 안전문에 대하여 지침에서 제시하고 있는 평가부분별 항목 및 기준은 Table 3.과 같다.

지침에서는 승강장 안전문의 평가부문 및 항목별 5점 척도로 평가하는 기준을 제시하고 있으며, 항목 및 부문별 중요도는 제시하고 있지 않다. 본 연구에서 조사한 각 시설물 유형별 평가부문 및 항목별 중요도는 이 지침상 기준에 따른 평가점수와 결합하여 가중합의 원리로 해당 시설의 안전성, 내구성, 사용성병 성능지수 및 종합성능지수의 도출에 사용될 수 있다. 이러한 원리는 관련법 및 고시된 지침에 따라 승강장 안전문 뿐 아니라 모든 철도시설에서 동일하게 적용된다.

Table 3. Performance evaluation criteria of platform screen doors on Guidelines [6]

Performance type	Evaluation criteria		Score	Weight
Safety	Physical condition	Poor	1	
		Insufficient	2	
		Average	3	
		Good	4	
		Excellent	5	
Durability	Age	15 years or more	1	
		12~15 years	2	
		8~12 years	3	
		4~8 years	4	
		Less than 4 years	5	
Usability	Failure frequency	7 times or more per year	1	
		5~6 times per year	2	
		3~4 times per year	3	
		1~2 times per year	4	
		None	5	
	Number of customers (Daily average)	Local: 10,000 people or more Metro: 30,000 people or more	1	
		Local: 5,000~10,000 people Metro: 20,000~30,000 people	2	
		Local: 2,000~5,000 people Metro: 10,000~20,000 people	3	
		Local: 1,000~2,000 people Metro: 5,000~10,000 people	4	
		Local: Less than 1,000 people Metro: Less than 5,000 people	5	

4. VR기반 시스템 프로토타입 개발

4.1 VR 시스템 구현

철도 시설물 성능평가 시뮬레이션은 VR 환경에서 시설물의 품질 및 안전성, 내구성, 사용성 등이 확보되고 있는지를 확인하기 위한 프로그램이다. 테스트를 위한 프로토타입 구현을 위해 가상의 철도역사를 모델링하였으며 총연장 333m를 기준으로 환기구 3개, 피난계단 2개, 승강장 안전문 4개, 외부엘리베이터 1개, 에스컬레이터 4개 등을 포함하였다. 구현된 역사모델을 근간으로 본 논문에서는 승장장 안전문만을 대상으로 시뮬레이션 프로토타입을 구축하였다.

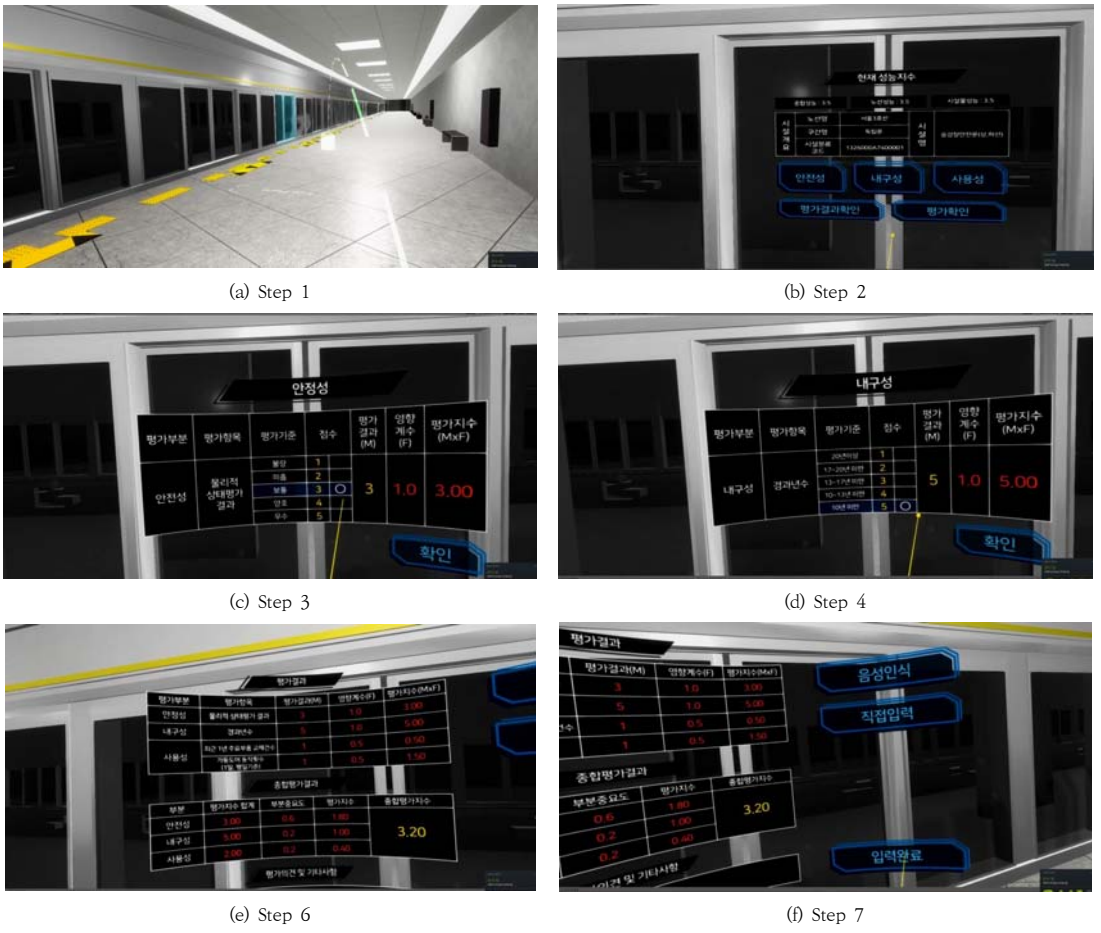
성능평가 시뮬레이션을 위해 시나리오 작성, 디자인 리소스 제작, 시나리오별 프레임 설계, BIM DATA 리소스 병합, 시뮬레이션 제작 및 평가 단계로 개발을 진행하였다. BIM 데이터 작성은 Autodesk Revit으로 진행하였으며 시각적 효과를 높이기 위한 재질매핑을 위해 AutoDesk 3D Max를 활용하였고 최종적으로 VR환경에서 대상시설물 조회 및 성능평가 결과 입력을 위한 상호작용 구현을 위해서 Unity 2018.2.17f1 (64-bit)을 기반으로 개발하였다.

VR 환경에서 상호작용을 위해 HTC VIVE 장비를 활용하였으며 엔지니어가 VR 환경에서 성능평가를 위한 대상구조물인 승강장안전문 앞에 가면 해당 구조물의 정보가 출력 되도록 개발하였다. VR 환경에서 확인된 구조물의 기본정보와 현장에서 육안으로 검토된 구조물의 정보를 확인한 후 안전성, 내구성, 사용성에 대한 정보를 입력할 수 있도록 구현하였다.

4.2 VR기반 승강장안전문 성능평가 시스템 프로토타입 구현

도시철도시설 중 승강장안전문을 선정하여 성능평가 교육 시뮬레이션을 구현하였다. 다음은 시뮬레이션 프로세스이며, 각 단계별 VR로 구현된 시뮬레이션의 주요 화면은 Fig. 2.와 같다.

- Step 1. 플랫폼에 입장하면 엔지니어가 평가해야 할 대상 시설물(승강장안전문)이 하이라이트 됨
- Step 2. 대상 시설물을 선택하면 시설개요(노선명, 구간명, 시설분류코드, 시설명) 정보와 평가부문이 표시됨
- Step 3. 안전성 선택 : 안전성 평가기준이 나타나고, 평가중인 시설물에 해당되는 연평균 장애율(안전성 평가지표)이 하이라이트 됨. 표시된 등급을 선택하면 다시 평가부문 화면으로 돌아감
- Step 4. 내구성 선택 : 내구성 평가기준이 나타나고, 평가중인 시설물에 해당되는 경과년수(내구성 평가지표)가 하이라이트 됨. 표시된 등급 선택하면 다시 평가부문 화면으로 돌아감
- Step 5. 사용성 선택 : 사용성 평가기준이 나타나고, 평가중인 시설물에 해당되는 최근 1년 주요부품 교체 건수, 가동도어 동작횟수(사용성 평가지표)가 하이라이트 됨. 표시된 등급 선택하면 다시 평가부문 화면으로 돌아감
- Step 6. 평가결과 선택 : 전체 체크리스트 화면이 표시됨. 해당 평가에 의한 종합평가지수 확인
- Step 7. 전체 체크리스트 화면을 보고 “평가의견
- 및 기타사항”이 있을 경우 평가자가 말하면 음성인식 및 자동기록
- Step 8. 평가완료를 선택하면 다음 평가대상 시설물이 하이라이트 됨



(a) Step 1 (b) Step 2

(c) Step 3 (d) Step 4

(e) Step 6 (f) Step 7

Fig. 2. Main screens of simulation process

4.3 시뮬레이션 테스트 및 결과

개발된 프로토타입에 대한 사용성 검증 및 향후 개선사항 수집을 위하여, 도시철도 시설물 관리자 6명의 플레이어를 지정하고 시뮬레이션 테스트를 진행하였다. 지정된 6명 중 3명이 정규 FPS(First Person Shooting) 플레이어로서 VR 게임에 대한 경험이 있고 나머지 3명은 VR 경험이 없다. 테스트 시나리오는 아래와 같다.

- 체험자는 철도 시설물 성능평가 시뮬레이션을 수행할 것을 알게 됨
- 성능평가 대상 시설물을 찾기 위해 방향 정보를 찾음
- 체험자는 UI(User interface) 요소를 보고 철도시설물 성능평가를 실시

철도시설물 성능평가 시뮬레이션을 완료할 수 있는 작업으로 스크립트를 만든 후, 체험자들을 대상으로 아래와 같은 방법으로 사용성 테스트 세션을 진행하였다.

- 철도 시설물 성능평가 시뮬레이션을 수행하기 위해 VR 헤드셋 및 컨트롤러(HTC Vive Pro) 사용
- 각 세션을 기록하기 위해 Nvidia Capture 어플리케이션 사용
- 각 체험자는 세션별로 10~15분 진행
  - 성능평가 평가대상 시설물 찾기
  - 성능평가를 위한 시설물 정보 이해하기
  - 성능평가 UI 사용
  - 평가완료 후 다음 시설물 찾기 또는 종료

철도시설물 성능평가 완료율을 측정하고 체험자들의 동작 패턴을 분석하였으며, 체험자들로부터 아래와 같은 개선사항을 취합하였다.

- 철도 시설물 성능평가 시뮬레이션 정보 아키텍처를 이해하기 어려움
- 일부 UI 패널은 VR 헤드셋에서 보기가 편하지 않았음
- 일부 작동하는 버튼은 발견하기 쉽지 않았음
- 평가하기 위한 VR상에서 버튼을 누르는 것이 불편한 것으로 나타났음
- 체험자마다 신장이 틀려 VR UI의 위치가 평가하기에 불편했음
- 시설물과 해당 시설물의 정보를 보면서 평가를 할 수 있는 점이 좋았음

도시철도 시설물 관리자들을 대상으로 한 시뮬레이션 테스트 결과, 철도시설 성능평가시 필요한 정보를 VR을 통하여 시각적으로 인식하는 것이 평가절차의 이해 및 실제 평가에 도움이 된다는 점을 확인 할 수 있었다.

한편 성능평가 정보의 이해가 어려웠다는 의견이 수집되었으며, 향후 프로토타입 개선시 도시철도 시설물 분류체계 및 평가부문별 항목의 가시화 방법 보완이 필요할 것으로 판단된다. 이 밖에 VR 헤드셋 착용시 UI 시청 및 버튼 작동에 있어 시각적으로 편안하지 않았다는 의견이 수집되었으며, 프로토타입상에서 지속적인 UI 개선이 필요하다.

5. 결론

최근 국가철도, 도시철도 등 일부 인프라 시설분야에서는 내구성, 안전성, 사용성을 포괄하는 성능평가체계를 마련하여 성능평가를 하고 있다. 하지만 도시철도는 대부분이 지하구간이기 때문에 미세먼지로 인한 작업환경이 매우 좋지 않다. 이에 실제 성능평가 이전에 미리 평가방법을 숙지하여 현장에서의 작업시간을 단축시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 VR을 활용하여 도시철도 성능평가 시뮬레이션 프로토타입을 개발하였다. 엔지니어가 승강장에 입장하여 무엇을 어떠한 방식으로 평가해야 하는지의 절차를 시뮬레이션 하였으며, 주요성과는 다음과 같다.

(1) 기존 연구를 고찰한 결과, VR은 열악한 작업환경을 몰입감 있게 가상환경에서 구현 및 상호작용을 지원하기 때문에 지하 구간에서 활용성이 높은 것으로 조사되었다.

(2) 도시철도 성능평가는 안전성, 내구성, 사용성 등으로 평가되고 있으며 대부분의 평가항목은 기존 데이터를 현장에서 간단히 확인만으로 평가할 수 있어서 VR 또는 AR을 적용하면 효과가 큼을 알 수 있었다.

(3) 성능평가 방법 및 절차를 분석하여 성능평가 장소에 입장, 대상 시설물 선택, 항목별 평가, 평가의견 기록 등 일련의 평가 시뮬레이션을 Unity 기반 및 HTC VIVE 장비를 이용하여 개발하였다.

(4) 여섯 명의 시뮬레이션 테스트 결과, 인지하기 어려운 아키텍처, 불편한 착용감의 헤드셋, 버튼 식별 및 이용의 불편함 등의 개선사항을 도출하였으며 이는 향후 시스템 개발시 우선 개선해야 할 사항이라 생각된다.

본 연구의 결과는 교육프로그램으로 활용되어 열악한 지하 환경에서 성능평가를 위한 작업시간을 단축할 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 본 연구에서 개발된 VR 기반 성능평가 시뮬레이션 프로토타입이 실제 성능평가를 수행하는 시설관리주체에게 도움이 되는지 적절한 방법론을 적용하여 보다 많은 엔지니어를 대상으로 평가할 필요가 있다. 추가적인 평가결과를 기반으로 모든 철도 시설로 확장 구축한다면 철도시설 관리자들의 성능평가 교육 및 시행에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

한편 본 연구에서는 VR 기반 성능평가 시뮬레이션 구축을 통해 교육용 컨텐츠 개발에 중점을 두었으나, 향후 AR 기술 활용을 통하여 각 관리대상 시설물과 평가시트를 연동시킬 수 있는 시스템으로 개발할 경우 현장에서의 기존 데이터 열람, 오피스 원격 지원 등 실질적 성능평가를 위한 사용성 개선이 가능할 것을 사료된다. 향후 연구에서는 해당 기능의 구현을 위한 AR 기반 성능평가 시스템의 개발도 함께 진행하고자 한다.

References

[1] Y.S. Kim, “The aging and policy issues of the urban infrastructure”, *Economic and industrial legislation and policy tasks*, National Assembly Research Service, Korea, vol.3, pp.15-35, December 2016.

[2] B.G. Yoo, D.Y. Kim, “The aging of infrastructure and improvement tasks”, *Weekly Economics Review*, Hyundai Research Institute, vol.536, pp.1-22, April 2013.

[3] Y.H. Lee, “A Study of Improvement and Longevity of the Aging Urban Infrastructure in Korea”, *Journal of*

Korea Institute of Construction Engineering and Management, vol.19, no.1, pp.11-21, 2018.

[4] K.T. Park, H.S. Shin, J.H. Hwang, J.H Park. Y.S. Kim, "Introduction to the state of the art on the development of performance based maintenance methodology in Korea", *Proceedings of the Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection Conference*, pp.641-642, Busan, Korea, vol.9, no.1, pp.641-642, April 2015.

[5] G. Kang, J.G. Han, I.S. Jung, K.H. Chin, "A Study on the Importance of Factors and Facilities for Urban Railway Performance Assessment", *Proceedings of KSCE 2018 CONVENTION*, pp. 535-536, Kyeongju, Korea, October 2018.

[6] "Guidelines for Periodic Inspection and Performance Evaluation of Railway Facilities (MOLIT Notification 2019-127)", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp.1-90, 2019.

[7] G. Kang, I.S. Jung, "Preliminary Study on the Asset Management Model for Aging Infrastructure", *Proceedings of KICEM Annual Conference*, vol.17, pp.179-180, Seoul, Korea, November 2018.

[8] G. Edwards, H. Li, B. Wang, "BIM based collaborative and interactive design process using computer game engine for general end-users", *Visualization in Engineering,* vol.3, no.4, 2015.
DOI: http://dx.doi.org/10.1186/s40327-015-0018-2

[9] A. Grabowski, J. Jankowski, "Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners", *Safety Science,* vol.72, pp.310-314, 2015.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017

[10] M. Roupé, P. Bosch-Sijtsema, M. Johansson, "Interactive navigation interface for virtual reality using the human body", *Computers, Environment and Urban Systems* vol.43, pp.42-50, 2014.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.10.003

[11] Z. Merchant, E.T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, T.J. Davis, "Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis", *Computers & Education,* vol.70, pp.29-40, 2014.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033

[12] A.Z. Sampaio, O.P. Martins, "The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods", *Automation in Construction,* vol.37, pp.58-67, 2014.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.015

[13] U. Rüppel, K. Schatz, "Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations". *Advanced Engineering Informatics,* vol. 25, no.4, pp.600-611. 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001

[14] H. Eschen, T. Kotter, R. Rodeck, M. Harnisch, T. Schuppstuhl, "Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry", *Procedia Manufacturing,* vol.19, pp.156-163, 2018.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022

강 고 운(Goune Kang) [정회원]

- 2012년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 (공학박사)
- 2016년 4월 ~ 2017년 3월 : 한국건설산업연구원 위촉연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

〈관심분야〉
성능평가(PA), 인프라자산관리(IAM)

정 인 수(Insu Jung) [정회원]

- 2000년 2월 : 인천대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 인천대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원
- 2009년 9월 ~ 2015년 3월 : 인천대학교 건축공학과 겸임교수

〈관심분야〉
건설사업관리, 건설정보화, 재난안전관리, 북한건설지원

김 정 렬(Jung-Yoel Kim) [정회원]

- 1999년 2월 : 인하대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2015년 7월 : The University of Texas at Austin (공학박사)
- 1999년 2월 ~ 2016년 2월 : 한국건설기술연구원 수석연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 건축학부(건축공학) 교수

〈관심분야〉
건설관리, BIM, 건설정보화, 자동화, 생산성, AR/VR

서 명 배(MyoungBae Seo) [정회원]

- 2001년 2월 : 조선대학교 전자계산학과 (이학석사)
- 2019년 8월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 (공박박사 수료)
- 1999년 12월 ~ 2002년 6월 : ㈜사람과사람 영상처리SW개발 팀장
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

〈관심분야〉
BIM, 3D프린팅, 가상건설, 빅데이터, 인공지능