

등각촬영법 가상현실 시뮬레이터 개발: 상악 중절치 중심으로

임지은¹ · 이재기^{2*}¹남서울대학교 일반대학원 치위생학과 박사과정^{2*}남서울대학교 치위생학과 부교수

Development of a Virtual Reality Simulator for Bisecting Angle Technique: Focusing on the Maxillary Central Incisor

Ji-Eun Im¹ · Jae-Gi Lee^{2*}¹Doctoral course, Department of Dental Hygiene, Graduate school of Namseoul University, Cheonan 31020, Korea^{2*}Associate professor, Department of Dental Hygiene, Namseoul University, Cheonan 31020, Korea

[요약]

등각촬영법은 정밀한 구내 사진을 획득하기 위해 치과 방사선 촬영에서 필수적이다. 그러나 원자력 안전 규정에 의해 방사선 발생 장치를 통한 실습 기회가 제한되어 학습자의 숙련도에 영향을 미칠 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 등각촬영법을 위한 가상현실 시뮬레이터(VRS; Virtual reality simulator)를 개발하였다. VRS는 상악 중절치 방사선 사진 획득과 관련된 순차적 단계를 재현하며 사진 준비, 촬영 방법 및 결과 확인 단계로 구성된다. 개발 과정에서 Blender 소프트웨어를 활용하여 가상의 치과 방사선실, 환자와 기계 같은 3차원 객체를 생성하였다. 또한 Unity 3D 엔진으로 구동되는 머리 착용 디스플레이(Oculus Quest 2)를 통해 학습자가 가상 개체와 상호작용하고 기술을 수행할 수 있다. VRS는 치과 방사선 진료에서 효과적인 도구로서의 잠재력을 보여준다. 그러나 학습자의 피드백 평가 및 교육 효과성 평가 등 VRS의 유효성을 검증하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

[Abstract]

In dental radiography, the bisecting angle technique is essential for acquiring precise intraoral films. However, strict nuclear safety regulations have limited training opportunities with these machines, impeding learners' proficiency development. To address this issue, a virtual reality simulator (VRS) was developed for the aforementioned technique. The VRS replicates the sequential stages involved in acquiring the radiograph of maxillary central incisor, including preparatory steps, machine operation, and image verification. Using the Blender software, three-dimensional (3D) objects, such as a virtual dental radiography room, patients, and machines, were created. The simulation is obtained using a head-mounted display (Oculus Quest 2) powered by the Unity 3D Engine, allowing learners to interact with virtual objects and perform the technique. The potential of this VRS as an effective tool in dental radiology practice is demonstrated. However, further research is needed to validate the efficacy of the VRS, including the evaluation of learners' feedback and assessment of the educational effectiveness of this virtual training tool.

색인어 : 가상현실, 시뮬레이션, 등각촬영법, 상악 중절치**Keyword** : Virtual Reality, Simulation, Bisecting Angle Technique, Maxillary Central Incisor<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.10.2433>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 07 July 2023; Revised 20 July 2023

Accepted 14 September 2023

*Corresponding Author; Jae-Gi Lee

Tel: E-mail: leejaegi@nsu.ac.kr

1. 서론

치과에서는 치아우식증, 치수 및 치주질환에 대한 임상적 검사뿐만 아니라 방사선학적 검사 등을 종합하여 진단을 내린다[1]. 치과 방사선 촬영은 눈으로 직접 확인할 수 없는 치근단 및 주위 조직에 대한 진단을 위해 필요하다. 파노라마는 상·하악 치아와 치조골 등 전반적인 상태를 확인할 수 있지만, 특정 치아와 주위 병소에 대해 더 정밀하고 높은 해상도의 사진을 얻기 위해서는 추가적인 구내 치근단 방사선촬영이 필요하다[2],[3]. 구내 치근단 방사선 촬영 중 등각촬영법은 이등변삼각형의 원리를 이용한 방법으로, 치아의 장축과 필름이 이루는 가상의 이등분선에 중심방사선을 수직으로 조사한다[4]. 등각촬영법은 필름의 위치에 따라 상의 연장이나 단축과 같은 왜곡이 발생하기 때문에 촬영 실책율이 높게 나타난다[5]. 치근단 및 주위 조직의 정확한 진단을 위해서는 올바른 등각촬영법을 통한 방사선 사진이 필요하다. 따라서 등각촬영법은 구강 내 해부학적, 형태학적 구조의 이해뿐만 반복적인 연습을 통한 숙련이 필요하다.

치과위생사는 의료기사 등에 관한 법률 시행령 제2조 제1항에 근거하여 구내 진단용 방사선 촬영 업무를 수행한다[6]. 등각촬영법은 치과위생사를 대상으로 한 연구에서 핵심기본 치위생역량술에 대한 29개 항목 중 13번째로 높은 숙련요구도를 나타내었다[7]. 치과위생사의 주요 업무에는 치석제거, 칫솔질 교육 등이 있지만, 구내 방사선 촬영 등의 업무 숙련도도 비교적 높은 요구도를 나타낸다. 치과위생사는 방사선관계종사자에 대한 직종별 비교에서 방사선사, 의사, 치과외사 다음으로 방사선 발생 장치의 사용 빈도와 피폭선량이 높다[8]. 특히 치과 병·의원에 근무하는 치과위생사는 구내 치근단 방사선 촬영을 대부분 담당하고 있으며, 방사선 노출량이 많은 것으로 보고되고 있다[9]. 이는 치과위생사의 구내 진단용 방사선 촬영 업무에 대한 숙련도와 방사선 피폭선량에 관계가 있음을 의미한다. 따라서 임상 치과위생사의 숙련도 향상뿐만 아니라, 치위생학과 학생들의 치과 방사선학 실습 교육을 통한 반복적인 경험이 중요하다.

국내의 진단용 방사선 발생 장치는 사용 목적과 촬영 대상에 따라 적용되는 법이 달라지며, 보건 계열 대학교에서 교육 및 실습을 목적으로 사용하는 경우 원자력안전법 하위 규정이 적용된다[10]. 치위생학과 학생은 원자력안전법 시행령 제2조 제8항에 따라 방사선 관리구역 수시출입자 또는 일반인으로 구분되어 치과 진단용 방사선 발생 장치를 인체에 사용할 수 없다[11]. 이에 따라 치위생학과 학생들은 치과 방사선용 실습 마네킨을 촬영 실습에 이용하고 있으며, 구강 내 방사선을 직접 조사할 수 없어서 실습의 어려움을 겪고 있다[12]. 치과 방사선용 실습 마네킨을 이용한 실습은 해부학적 구조에서 수직각과 수평각을 맞추기가 쉬워 상호실습보다 효과적으로 나타났다[12]. 그러나 방사선용 실습 마네킨 등의 기자재 구입과 방사선 관리구역 출입을 위한 조건 등은 관련 학과의 비용과 시간, 방사선 안전 문제에 대한 부담으로 작용

할 수 있다. 이처럼 실습 장비 및 환경 등의 제한으로 치위생학과 학생들은 구내 진단용 방사선 촬영 숙련도 향상에 어려움이 있는 상황이다. 따라서 치위생학과와의 치과방사선학의 등각촬영법 실습 과정에서 비용 부담이 적고, 장비 및 환경의 제한을 받지 않으면서 학생들이 반복적으로 사용할 수 있는 새로운 교육 매체와 방법이 필요하다.

치과 진료에는 구강 해부학에 대한 학문적 지식, 이해, 임상 기술 등이 요구된다. 이에 따라 치의학 교육에서는 가상현실(VR; Virtual reality) 기술을 이용한 학습 매체를 기존 학습의 보조 수단으로 함께 활용하고 있다[13]. VR 기술을 기반으로 가상의 학습 환경을 생성하여 진행한 치아형태학 학습은 기존의 교과서 중심의 학습보다 이해하기 쉽고, 학습자들의 높은 학습 수용도를 보였다[14]. 치과대학의 직접 수복 커리큘럼에 VR을 사용한 집단은 그렇지 않은 집단보다 만족스러운 수복 성과를 나타내었다[15]. 또한, 노인의 구강 건강 관리를 위한 VR 기반 교육 연구에서 구강 관련 지식, 태도, 자기효능감과 의도가 VR을 사용하지 않은 집단보다 높게 나타났다[16]. 이처럼 VR 기술은 가상의 몰입형 경험을 통해 이전보다 높은 교육 효과를 기대할 수 있다.

치과 방사선학과 관련한 연구에서는 증강현실(AR; Augmented reality)을 이용한 시뮬레이터 개발 또는 360° VR을 이용한 매체 개발 등 시청각 중심의 연구들이 이루어지고 있다[17],[18]. 이러한 연구에 따르면 AR 시뮬레이터를 사용한 집단은 학습 흥미도, 학습 만족도 및 실습 만족도가 높았으며, 360° VR을 이용한 집단의 만족도가 대조집단보다 높았다. 그러나 이러한 매체는 사용자가 직접 조작을 할 수 없다는 한계가 있다. 치과 방사선학은 치과 진료 과정에서 환자의 구강 진단을 위한 중요한 요소이다. 그렇기 때문에 방사선 발생에 따른 환경적, 공간적 제한을 벗어나 학습자가 직접 조작하고 실습을 경험할 수 있는 교육 매체에 대한 연구가 필요하다.

VR은 3차원(3D; Three-dimensional) 오브젝트(object)와 환경으로 이루어진 가상의 공간을 구현하여, 실제 존재하는 것 같은 가상의 환경에서 상호작용을 제공하는 기술이다[19]. VR은 휴대폰과 같은 장치를 통해 접근할 수도 있지만, 머리 착용 디스플레이(HMD; Head-mounted display)를 통해 가상의 3D 오브젝트와 직접 상호작용할 수 있다[20]. VR 기반 매체는 사용자의 시각과 청각을 자극하여 생동감 있는 경험을 제공한다[21]. VR은 HMD를 구매하여 이용할 수 있기 때문에 실제 작업 환경을 구성하기 위한 비용 대비 효율적이고 안전한 경험을 제공할 수 있다[22]. VR 기반 학습에서 반복적인 사용을 통한 단기 기억력은 시각과 청각의 영향을 받지 않지만[23], 촉각을 포함한 다른 감각 신호를 통합 및 강화하는 과정에서 정보의 인식을 향상할 수 있다는 보고가 있었다[24]. 따라서 이 연구에서는 사용자가 직접 조작하여 시각, 청각, 촉각 등의 감각을 자극하고 생동감과 몰입감 있는 경험을 제공할 수 있는 등각촬영법 VR 매체를 개발하고자 한다.

VR은 등각촬영법 학습 및 실습 과정에서 반복적인 학습

경험을 제공할 수 있는 매체이다. 따라서 이 연구에서는 치위생학과 치과방사선학 과정 중 상악 중절치를 중심으로 한 등각촬영법 학습을 위한 가상현실 시뮬레이터(VRS; Virtual reality simulator)를 개발하고자 한다. 이를 통해 치과 방사선학 임상 전 단계에서 활용할 수 있는 새로운 매체의 사용 가능성을 확인하고 치과방사선학 실습을 위한 기초 자료를 제안하고자 한다.

II. 방 법

2-1 시뮬레이션 개발 과정

1) 사전 준비

상악 중절치 등각촬영에 대한 VRS는 3단계 과정을 통해 개발하였다. 그림 1에서 개발 과정에 따른 내용을 흐름도(flowchart)로 나타내었다. 1단계(step 1)는 등각촬영법 촬영에 대한 시나리오 구성, 2단계(step 2)는 가상의 치과 방사선실에 대한 3D 모델링, 3단계(step 3)는 시스템 구성이다. 첫 번째 단계(step 1)에서 등각촬영법 과정에 따른 시나리오를 작성하였다. 시나리오의 주요 내용 구성은 상악 중절치에 대해 등각촬영법을 이용하여 촬영을 수행할 때, 술자의 동작과 주의사항으로 구성하였다. 시나리오 작성은 2명의 전문가가 참여하였다(치과 방사선학 교육 경력 10년 이상의 교수 1명, 임상 경력 7년 이상의 치과위생사 1명). 두 번째 단계

(step 2)는 가상의 치과 방사선실을 3D 모델링 하는 과정이다. 사전 준비과정에서 3D 모델링을 위해 3D 오브젝트를 수집하였다. 가상의 치과 방사선실은 납방어복, 촬영 단계 지시 인터페이스, 트레이, 의자, 환자, 치과 방사선 촬영기기의 조사통, 장갑, 일회용 필름 등 세부적인 3D 오브젝트를 포함 및 구성하도록 계획하였다. 이때 시뮬레이션 구현 과정에서 3D 모델링에 대한 편의성을 위해, TURBOSQUID(<https://www.turbosquid.com>, New Orleans, Louisiana, USA)에서 일부 3D 오브젝트를 구매하였다.

2) 시뮬레이션 구성

그림 1의 step 1, step 2를 포함한 사전 준비 과정을 통해, 세 번째 단계(step 3)에서 시뮬레이션을 구현하였다. 기존에 보유한 3D 오브젝트와 새로 구매한 3D 오브젝트를 포함하여 Blender software(blender 2.78, open source: <https://www.blender.org>)에서 3D 모델링하였다. 3D 모델링 된 시뮬레이션은 Unity 3D engine(2021.3.8f1 version, Unity Technologies, Copenhagen, Denmark)을 이용하여 Android 플랫폼에 빌드(build) 하였다. Unity 3D engine에서 3D 오브젝트와 사용자 조작에 대한 상호작용을 활성화하였다. 시뮬레이션은 HMD 중 Oculus Quest 2(Android 10 version, Oculus, Los Angeles, USA)에 설치하였고, 사용자가 조작하여 상악 중절치에 대한 등각촬영법 과정을 가상현실로 경험할 수 있도록 하였다. 이때 컨트롤러 사용의 미숙함을 방지하기 위해, 사용자가 컨트롤러와 3D 오브젝트의 상호작용을 경험할 수 있는 사전 준비 단계를 삼차원으로 모델링 하였다. 촬영 단계 지시 인터페이스를 통해 다음 촬영 과정에 대해 사용자가 인지할 수 있도록 하였다. 이 단계에서 올바른 등각촬영법 수행에 대한 결과는 구내 치근단 방사선 사진으로 출력할 수 있도록 구성하였다. 구내 치근단 방사선 사진은 실제 임상 환경에서 촬영한 상악 중절치 치근단 사진이 무작위로 나타나도록 하였다. 이때 일반적으로 건강한 치아, 신경치료가 된 치아, 교정한 치아, 보철치료 또는 파절된 치아 등 다양한 경우의 사례를 확인할 수 있도록 준비하였다. 치근단 사진은 인천의 보존 전문 치과의원의 자료를 사용하였으며, 개인 식별 정보를 제거한 후에 연구용으로 사용 허가를 받아 활용하였다.

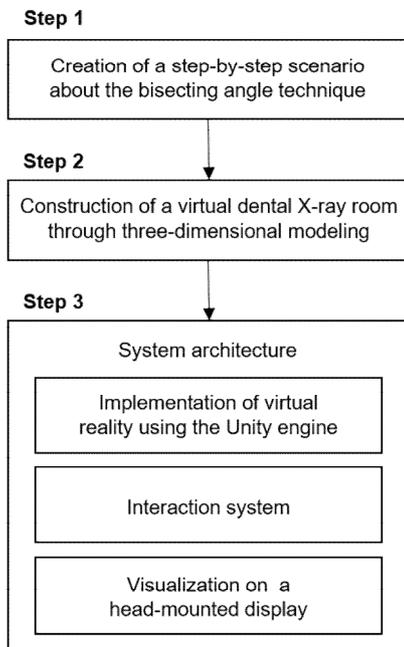


그림 1. 머리 착용 디스플레이에서 가상현실 기반의 등각촬영법 시뮬레이터 개발 과정

Fig. 1. The development process of the bisecting angle technique based on virtual reality in a head-mounted display

III. 결 과

3-1 시뮬레이션 실행

1) 시뮬레이션 절차

상악 중절치 등각촬영법 VRS는 촬영에 대한 교육 시나리오에 따라 사용자가 직접 조작이 가능하도록 제작하였다. 그림 2와 같이 사용자는 HMD를 착용한 후에 양손의 컨트롤러를 조작하여 시뮬레이션할 수 있다. 최초 실행화면에서 컨트롤러



그림 2. 가상현실 기반의 머리 착용 디스플레이와 컨트롤러를 이용한 등각촬영법 시뮬레이터 작동 과정에서 보이는 화면
Fig. 2. During the bisecting angle technique learning process using a head-mounted display (HMD) and controller based on virtual reality, a play screen is displayed to show the operation process



*1: Lead apron, *2: Operation panel, *3: Would you like to start filming, *4: position indicating device of intraoral X-ray machine, *5: Glove, *6: X-ray sensor

그림 4. X-선실에 입장한 사용자가 보게 되는 가상 공간 및 3D object의 구성:X-선실 정면의 환자, 조작패널, 납 방어복, 구내 방사선 촬영기의 조사통, 책상, 글러브, X-ray 센서

Fig. 4. This photo which illustrates the composition of the virtual space and 3D objects perceived by the user upon entering the X-ray room: In front of the X-ray room are the patient, operation panel, lead apron, position indicating device of intraoral X-ray machine, workstation, glove, and X-ray sensor

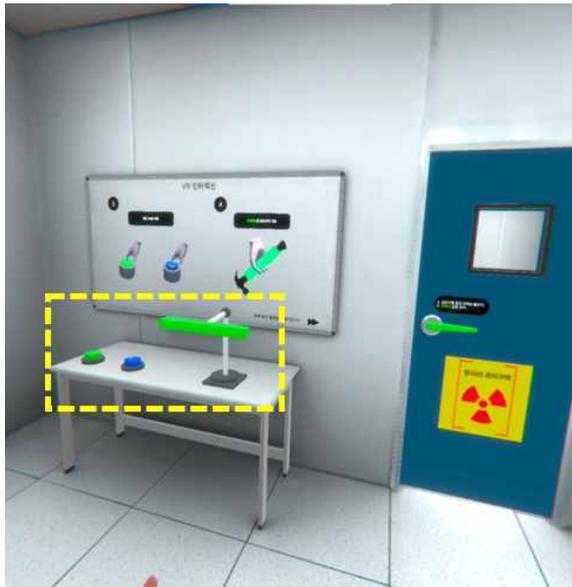


그림 3. 시뮬레이터 초기 화면에서 컨트롤러를 조작하는 과정을 자세히 설명하는 장면: 사용자가 컨트롤러를 이용하여 버튼이나 손잡이를 조작하는 방법을 확인

Fig. 3. This is a detailed description of the procedure for operating the controller on the initial screen of the simulator: The user checks how to operate a button or knob using the controller

러의 미숙함을 줄여주기 위해 컨트롤러 조작 시뮬레이션 테스트(task)를 제공하였다. 왼손 컨트롤러의 아날로그 스틱은 앞뒤로 이동할 수 있고, 오른손 컨트롤러의 아날로그 스틱은 좌우로 회전할 수 있다. 그림 3과 같이 컨트롤러의 그림 버튼은 검지손가락 역할을 하여 버튼을 누를 수 있고, 트리거와 그림 버튼을 동시에 누르면 초록색 손잡이가 달린 사물을 잡을 수 있다. 사용자는 이 단계에서 3D 오브젝트와 상호작용

하며 버튼을 직접 눌러보거나, 초록색 손잡이를 잡고 이동하며 컨트롤러 조작을 연습할 수 있다. 사용자는 컨트롤러 사용 방법을 연습한 후에 가상의 치과 방사선실 안쪽으로 이동할 수 있다. 가상의 치과 방사선실에 입장했을 때 가상의 공간 구성은 다음과 같다. 그림 4와 같이 정면에는 환자, 조작패널, 납 방어복, 조사통, 책상, 글러브, 센서 등의 3D 오브젝트가 있다. 등각촬영에 대한 시뮬레이션은 정면에 위치한 3D 오브젝트와의 상호작용을 통해 이루어진다.

사용자는 그림 4와 같이 정면에 있는 조작패널에 가까이 이동하여 내용을 확인한 후 순차적인 단계에 따라 등각촬영법에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 시뮬레이션 수행 단계는 다음과 같다: (1) 환자 이름 확인, (2) 치근단 촬영 치아 선택, (3) 글러브 착용, (4) 환자에게 등각촬영 과정 설명, (5) 환자가 착용한 안경 제거, (6) 납 방어복 착용, (7) 상악 중절치 촬영을 위한 환자의 머리 위치조정, (8) X-ray 센서에 보호 필름 씌우기, (9) 환자의 구강 내에서 센서 위치시키기, (10) 환자의 검지손가락으로 X-ray 센서 고정, (11) 조사통의 중심방사선 위치 조정, (12) 촬영실 밖으로 이동, (13) 방사선 조사 버튼 누르기, (14) 조사통 및 X-ray 센서 제거, (15) 촬영 결과 확인, (16) 납 방어복 제거, (17) 환자에게 안경 씌워주기, (18) 대기실 또는 진료실로 자리 안내, (19) 다시 시작 또는 종료.

2) 순차적 시뮬레이션 단계의 특징

그림 5에서 사용자가 각 단계에서 적절한 동작 수행할 때, NEXT 버튼이 초록색으로 활성화된다. 사용자는 NEXT 버튼을 눌러 다음 단계로 진행할 수 있으며, 동작이 정확히 수행되지 않을 때 NEXT 버튼은 붉은색으로 표시된다. 그림 6과 같이 사용자는 ‘(6) 납 방어복 착용’ 단계에서 납 방어복을 가상의 환자에게 착용하도록 도움을 줄 수 있다. 사용자는 납 방어복의 초록색 손잡이를 잡고 이동하여 환자의 주변에 위치시킬 수 있다. ‘(7) 상악 중절치 촬영을 위한 환자의 머리 위치 조정’ 과정에서 가상의 환자 머리 위치가 정중선과 바닥이 수직을 이루고, 비익-이주선이 바닥과 평행을 이루며 사용자는 컨트롤러로 이동하여 가상의 환자 상태를 확인할 수 있다. ‘(8) X-ray 센서에 보호 필름 씌우기’ 과정에서, 그림 7과 같이 일회용 보호 필름을 직접 씌우는 과정을 수행할 수 있다. 3D 오브젝트로 구현한 X-ray 센서의 초록색 손잡이를 잡은 상태에서 보호 필름의 위치로 옮기면 파란색 필름을 씌울 수 있다. 이러한 과정을 완료한 후에, ‘(9) 환자의 구강에서 센서 위치시키기’ 과정에서 X-ray 센서는 상악 좌우측 중절치와 측절치 및 치근단 부위가 포함되도록 치아의 설측에 세로로 위치시킬 수 있다. 그리고 사용자는 센서의 상연이 치아의 절단면으로부터 3mm 정도 연장되도록 위치를 조절할 수 있다. 사용자는 센서의 올바른 위치를 수행해야 다음 단계의 시뮬레이션이 가능하다. 사용자는 치과 방사선기기의 조사통을 가상의 치과 방사선 촬영실에서 컨트롤러를 조작하여 수평각과 수직각을 조절할 수 있다. 사용자는 상악 중절치 촬영 시 중심방사선의 입사점은 환자의 비침을 향하도록 조작할 수 있다. 이때 조사통 수직각은 약 +40°, 수평각은 중심방사선이

환자 안면의 정중선 또는 좌우 중절치 사이의 인접면을 통과해야 한다. 중심방사선을 나타내는 원형의 막대 모양은 입사점의 위치와 방향이 맞지 않을 때 보라색, 정확하게 위치했을 때는 초록색으로 나타난다. 사용자는 중심방사선을 나타내는 색을 통해 조사통을 올바르게 위치시켰는지 확인할 수 있다. ‘(13) 방사선 조사 버튼 누르기’ 과정에서, 방사선 촬영을 위해 사용자는 가상의 치과 방사선실 밖으로 이동하여 파란색 촬영 버튼을 누르면 촬영 알림음이 울린다. 알림음이 완전히 멈추면 치과 방사선실 안으로 이동하여 남은 단계를 수행할 수 있다. 사용한 조사통은 원래 위치에 옮기고, X-ray 센서에 씌워진 일회용 보호 필름과 글러브는 쓰레기통에 버릴 수 있다. 촬영 결과는 가상의 치과 방사선실에 놓인 컴퓨터 모니터



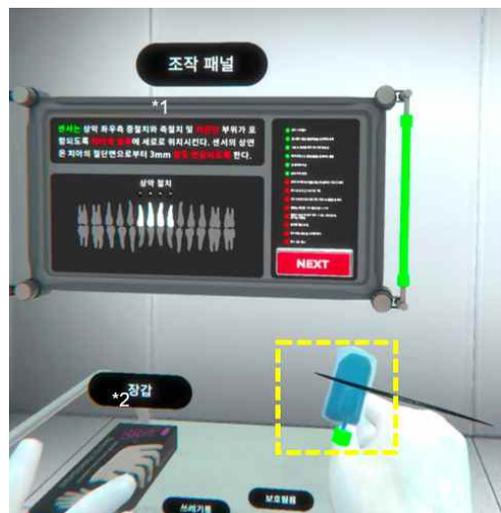
*Wear a lead apron

그림 6. 납방어복손잡이를 잡고 환자에게 착용 시키는 과정
Fig. 6. The process of holding the handle of the lead apron and putting it on the patient



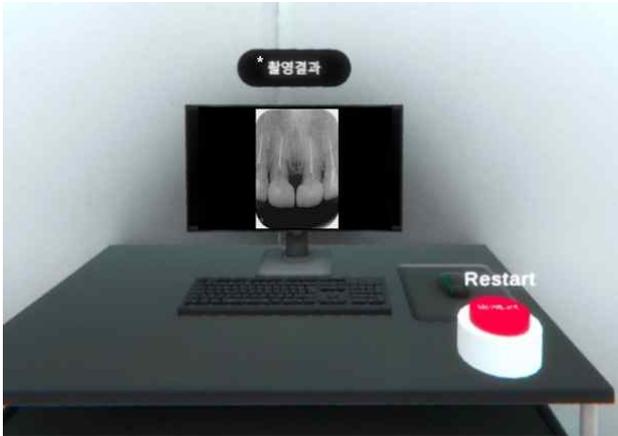
*1: Operation panel, *2: Did you briefly introduce the process to the patient? Please check, *3: Maxillary central and lateral incisors, *4: Glove

그림 5. 등각촬영법을 수행하는 데 필요한 순차적 단계를 표시하는 조작패널
Fig. 5. A scene depicting the user checking the operation panel for executing the bisecting angle technique is presented



*1: Operation panel, *2: Glove

그림 7. X-ray 센서에 보호 필름을 씌운 장면(노란 점선 상자)
Fig. 7. A scene with a protective film covering the X-ray sensor (yellow dotted box)



*Radiography result

그림 8. 등각 촬영 후 컴퓨터에서 결과를 확인하는 장면.

상악절치의 치근단 및 주위 구조가 포함되었는지 확인

Fig. 8. A scene where the result is checked on the computer after the bisecting angle technique. Confirmation of the inclusion of the apical and surrounding structures of the maxillary incisors

에서 확인할 수 있으며, 그림 8과 같이 보여준다. 사용자는 가상의 모니터에서 상악 좌·우측 절치의 치근단 및 주위 구조가 포함되는 치과 방사선 사진을 확인한 후에 시뮬레이션을 직접 종료할 수 있다.

IV. 논 의

VR은 가상의 환경에서 높은 실재감과 몰입감을 통해 실제로 그 공간에 존재하는 듯한 경험을 제공한다[25]. 현재는 게임, 영상미디어, 교육 등의 분야에서 차세대 플랫폼으로써 다양하게 활용되고 있다[26]–[28]. VR 환경 기술에서 몰입감에 영향을 주는 요소는 현실감 있는 시각 구현, 다중감각의 체험 구현, 시야의 차단, 상호작용 및 내용이 있다[29]. 특히 HMD는 트래킹 기술을 통해 사용자의 움직임을 반영하여 디스플레이가 재생된다[30],[31]. HMD 기반의 몰입형 VR 콘텐츠를 이용한 수업은 학습에 도움이 되고, 사용자의 흥미 유발에 영향을 미친다[32]. 즉 HMD 통한 VR 콘텐츠는 사용자에게 능동적 경험을 제공하고, 학습자의 몰입에 영향을 미칠 수 있다. 치의학, 치위생학 분야에서는 다양한 VR 교육 콘텐츠 개발이 이어지고 있다. 치과대학 학생들을 대상으로 파노라마 방사선 촬영에 대한 VR 시뮬레이션 연구에 따르면, VR 시뮬레이션을 사용한 집단은 강의만 들은 집단보다 구강에 대한 해부학적 구조 식별에 대해 더 높은 점수를 나타내었다[33]. 또한, VR 기술을 이용한 치아형태학 실습 시스템을 개발하여 학습자의 임상 기술을 향상하기 위한 노력도 이어지고 있다[34]. 그러나 이러한 VR 매체들은 실제 임상처럼 전반적인 실습 과정에 대해 재현되지 않거나, 사용자가 직접 조작하며 경험할 수 있는 범위가 제한적이다. 치과 임플란트 수

술 교육을 위한 VR 연구에서, VR 시뮬레이션을 이용한 교육은 대상에 대한 위험성이 없는 상태에서 실습 경험을 제공하고 학생들의 숙련도를 평가할 수 있는 교육 도구로써 가능성을 제안하였다[35]. 즉, 치의학 및 치위생학 분야에서 학습자의 실습 역량을 높이기 위해서는 사용자가 직접 시뮬레이션할 수 있는 VR 매체가 필요하다. 치의학 및 치위생학 교육에서는 가상현실 기술을 이용한 다양한 매체가 개발 및 평가되고 있으나, 원자력 안전 규정을 받는 국내 대학의 치과방사선학 수업을 위한 매체 개발은 활발히 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 HMD 기반의 상악 중절치 등각촬영법 VRS를 개발하고자 하였다.

이 연구에서는 상악 중절치 등각촬영 과정을 시나리오를 기반으로 하여, 수행 동작에 따라 (1)부터 (19)까지 세부적으로 구분하였다. VRS는 3D 오브젝트를 이용한 모델링 과정을 통해 개발하였다. VRS는 HMD와 컨트롤러를 이용해 가상의 공간에서 상악 중절치 등각촬영을 경험할 수 있도록 하였다. HMD 기반 VR 매체는 사용자가 초기에 컨트롤러 조작에 대해 어려움을 느낄 수 있어서 시뮬레이션 초기 화면에서 컨트롤러 조작 방법을 제기하였다. 각 단계는 사용자가 3D 오브젝트를 이용하여 각 단계에서 동작을 수행하도록 하였다. 이때 사용자가 정확한 동작을 수행해야 다음 단계로 넘어가는 버튼이 활성화되도록 하였다. 모든 단계가 수행되면 프로그램을 종료하거나 처음부터 다시 시작될 수 있도록 구성하였다. Park 등[36]의 연구에 따르면, VR 기반의 조작 가능한 교육 콘텐츠는 학습자의 이론 지식, 수행 능력 및 실습 만족도 향상에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 VR 기술 기반의 인체모형 임상 전 단계 학습은 실제 실습 과정에서는 치료의 안전성 및 수행에 대한 자신감 향상에 도움이 된 것으로 나타났다[37].

이 연구에서는 상악 중절치 등각촬영법 VRS를 개발하였으나 매체의 유효성을 검증하기 위한 평가가 이루어지지 않았다. 따라서 VRS에 대한 사용자의 평가와 교육 도구로써 효과와 영향을 확인하기 위한 표본집단을 구성하여 후속 연구를 진행할 필요가 있다. 그리고 치아와 해부학적 구조에 따라 치근단 촬영 오류의 빈도가 증가하며, 특히 상악 대구치 촬영 시 촬영 오류가 빈번하게 발생하기 때문에[38], 상·하악 치아별로 등각촬영법 VRS를 추가 개발할 필요가 있다. 또한, HMD 기술 발달에 따라 혼합현실(Mixed reality)형으로 개발된 Microsoft의 HoloLens 등[39]의 매체에서 적용할 수 있는 콘텐츠 개발이 필요하다.

V. 결 론

이 연구에서는 물리적인 환경에 따른 제약을 극복하기 위해서, VR 기술을 이용하여 등각촬영법을 시뮬레이션할 수 있는 실습 도구를 개발하였다. 등각촬영법 VRS는 가상의 치과

방사선실, 치과 방사선기기, 환자 등을 3D 오브젝트로 구현하였고, 사용자가 3D 오브젝트와 상호작용할 수 있도록 개발하였다. 사용자는 HMD를 통해 술자 시점에서 등각촬영법을 경험하고, 컨트롤러를 통해 3D 오브젝트를 잡거나, 이동시킬 수 있다. 또한, 각 단계에 따라 상악 중절치 등각촬영법을 직접 수행할 수 있도록 구성하였다. 등각촬영 과정은 19단계로 세분화하여 수행되며, 단계별로 가상현실 동작이 올바르게 수행되는 경우 다음 단계로 진행할 수 있도록 하였다. 그러나 이 연구에서는 VRS에 대한 개발만 수행되었기 때문에, 사용자 경험 및 교육 효과에 대한 평가가 추가로 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2020R111A3061952)

참고문헌

- [1] H. Kim, Y. Chun, K.-D. Kim, B.-Y. Jung, W. Park, J. Jung, ... and N.-S. Pang, "The Diagnosis of Pulpal and Periapical Disease," *Journal of Korean Academy of Advanced General Dentistry*, Vol. 8, No. 2, pp. 49-56, May 2019.
- [2] B. Vandenberghe, R. Jacobs, and J. Yang, "Diagnostic Validity (or Acuity) of 2D CCD versus 3D CBCT-Images for Assessing Periodontal Breakdown," *Oral and Maxillofacial Radiology*, Vol. 104, No. 3, pp. 395-401, September 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.03.012>
- [3] G. Berghuis, J. Cosyn, H. De Bruyn, G. Hommez, M. Dierens, and V. Christiaens, "A Controlled Study on the Diagnostic Accuracy of Panoramic and Peri-Apical Radiography for Detecting Furcation Involvement," *BMC Oral Health*, Vol. 21, pp. 1-10, March 2021. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01460-z>
- [4] A. Ruprecht, J. A. Reid, and T. L. Batten, "Radiologic Examination: Intra Oral Techniques Bisecting Angle Technique," *Ontario Dentist*, Vol. 52, No. 1, pp. 12-15, January 1975.
- [5] K.-H. Lee, I.-S. Park, and J.-O. Jung, "A Comparative Study on Rate of Error with Bisecting Angle Technique and Paralleling Technique," *Journal of Dental Hygiene Science*, Vol. 11, No. 3, pp. 155-161, June 2011.
- [6] Korea Law Information Center. Enforcement Decree of the Medical Service Technologists, etc. Act [Internet]. Available: <https://www.law.go.kr/>.
- [7] S.-H. Chae, H.-J. Noh, G.-W. Jeong, H.-N. Kim, H.-M. Maeng, Y.-S. Cho, ... and J.-H. Hyun, "Research on Dental Hygienists' Clinical Skill Proficiency in Core Dental Hygiene Competency," *Journal of Korean Society of Dental Hygiene*, Vol. 16, No. 5, pp. 651-660, October 2016. <https://doi.org/10.13065/jksdh.2016.16.05.651>
- [8] K.-J. Seong, C.-G. Kong, and K.-R. Dong, "A Study on the Management of Radiation Workers Exposure Dose," *Journal of Radiation Industry*, Vol. 14, No. 3, pp. 273-285, September 2020. <https://doi.org/10.23042/radin.2020.14.3.273>
- [9] G.-S. Shin, Y.-H. Kim, B.-R. Lee, S.-Y. Kim, G.-W. Lee, C.-S. Park, ... and K.-Y. Chang, "The Actual State and the Utilization for Dental Radiography in Korea," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 33, No. 2, pp. 109-120, June 2010.
- [10] J.-K. Ko, Y.-R. Jeon, E.-O. Han, P.-K. Cho, and Y.-M. Kim, "Comparison of the Legislation Applicable to Compare the Use of Diagnostic Radiation Devices," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 38, No. 3, pp. 277-286, September 2015. <https://doi.org/10.17946/JRST.2015.38.3.12>
- [11] Korea Law Information Center. Enforcement Decree of the Nuclear Safety Act [Internet]. Available: <https://www.law.go.kr/>.
- [12] B.-Y. Won, M.-Y. Hwang, G.-W. Jang, N.-S. Heo, M.-S. Yun, and S.-S. Park, "Analysis of Dental Radiography Phantom Practice of Dental Hygiene Students," *Journal of Korean Society of Dental Hygiene*, Vol. 18, No. 6, pp. 1013-1023, December 2018. <https://doi.org/10.13065/jksdh.20180087>
- [13] N. Dzyuba, J. Jandu, J. Yates, and E. Kushnerev, "Virtual and Augmented Reality in Dental Education: The Good, the Bad and the Better," *European Journal of Dental Education*, November 2022. <https://doi.org/10.1111/eje.12871>
- [14] A. Liebermann and K. Erdelt, "Virtual Education: Dental Morphologies in a Virtual Teaching Environment," *Journal of Dental Education*, Vol. 84, No. 10, pp. 1143-1150, October 2020. <https://doi.org/10.1002/jdd.12235>
- [15] S. Murbay, J. W. W. Chang, S. Yeung, and P. Neelakantan, "Evaluation of the Introduction of a Dental Virtual Simulator on the Performance of Undergraduate Dental Students in the Pre-Clinical Operative Dentistry Course," *European Journal of Dental Education*, Vol. 24, No. 1, pp. 5-16, February 2020. <https://doi.org/10.1111/eje.12453>

- [16] A.-H. Chang, P.-C. Lin, P.-C. Lin, Y.-C. Lin, Y. Kabasawa, C.-Y. Lin, and H.-L. Huang, "Effectiveness of Virtual Reality-Based Training on Oral Healthcare for Disabled Elderly Persons: A Randomized Controlled Trial," *Journal of Personalized Medicine*, Vol. 12, No. 2, 218, February 2022. <https://doi.org/10.3390/jpm12020218>
- [17] J.-Y. Gu and J.-G. Lee, "Effects of a New Clinical Training Simulator for Dental Radiography Using Augmented Reality on Self-Efficacy, Interest in Learning, Flow, and Practice Satisfaction," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 10, No. 9, pp. 1811-1817, September 2018. <https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.9.1811>
- [18] J.-E. Im, J.-Y. Gu, E.-J. Lim, and J.-G. Lee, "Virtual Reality Technology Using a 360° Video: Development and Evaluation of an Educational Tool for Intraoral Radiography Using the Bisecting Angle Technique," *Virtual Reality*, May 2023. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00803-1>
- [19] M.-S. Yoh, "The Reality of Virtual Reality," in *Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Berkeley: CA, pp. 666-674, October 2001. <https://doi.org/10.1109/VSM.2001.969726>
- [20] C. Kwon, "Verification of the Possibility and Effectiveness of Experiential Learning Using HMD-Based Immersive VR Technologies," *Virtual Reality*, Vol. 23, No. 1, pp. 101-118, March 2019. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0364-1>
- [21] H. Engelbrecht, R. W. Lindeman, and S. Hoermann, "A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality for Firefighter Training," *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 6, 101, October 2019. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00101>
- [22] S. Grassini, K. Laumann, V. de Martin Topranin, and S. Thorp, "Evaluating the Effect of Multi-Sensory Stimulations on Simulator Sickness and Sense of Presence during HMD-Mediated VR Experience," *Ergonomics*, Vol. 64, No. 12, pp. 1532-1542, June 2021. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1941279>
- [23] W. Choi, "Verification of the Effect on Short-Term Memory in VR Space by Audio-Visual Stimulation," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 24, No. 2, pp. 229-235, February 2023. <https://doi.org/10.9728/dcs.2023.24.2.229>
- [24] F. Biocca, J. Kim, and Y. Choi, "Visual Touch in Virtual Environments: An Exploratory Study of Presence, Multimodal Interfaces, and Cross-Modal Sensory Illusions," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 10, No. 3, pp. 247-265, June 2001. <https://doi.org/10.1162/105474601300343595>
- [25] S. A. Smith and N. W. Mulligan, "Immersion, Presence, and Episodic Memory in Virtual Reality Environments," *Memory*, Vol. 29, No. 8, pp. 983-1005, July 2021. <https://doi.org/10.1080/09658211.2021.1953535>
- [26] D. Checa, I. Miguel-Alonso, and A. Bustillo, "Immersive Virtual-Reality Computer-Assembly Serious Game to Enhance Autonomous Learning," *Virtual Reality*, December 2021. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00607-1>
- [27] S. Li and J. Li, "Construction of Interactive Virtual Reality Simulation Digital Media System Based on Cross-Media Resources," *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2022, 6419128, August 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6419128>
- [28] C. Erolin, L. Reid, and S. McDougall, "Using Virtual Reality to Complement and Enhance Anatomy Education," *Journal of Visual Communication in Medicine*, Vol. 42, No. 3, pp. 93-101, May 2019. <https://doi.org/10.1080/17453054.2019.1597626>
- [29] L. A. Groves, P. Carnahan, D. R. Allen, R. Adam, T. M. Peters, and E. C. S. Chen, "Accuracy Assessment for the Co-Registration between Optical and VIVE Head-Mounted Display Tracking," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol. 14, No. 7, pp. 1207-1215, July 2019. <https://doi.org/10.1007/s11548-019-01992-4>
- [30] M. J. Gourlay and R. T. Held, "Head-Mounted-Display Tracking for Augmented and Virtual Reality," *Information Display*, Vol. 33, No. 1, pp. 6-10, January 2017. <https://doi.org/10.1002/j.2637-496X.2017.tb00962.x>
- [31] T. H. Kim and J. W. Ko, "The Effects of Immersive Virtual Reality Learning on Middle School Students' Learning Outcomes," *The Journal of Educational Information and Media*, Vol. 25, No. 1, pp. 99-120, March 2019. <https://doi.org/10.15833/KAFEIAM.25.1.099>
- [32] I. Mirghani, F. Mushtaq, M. J. Allsop, L. M. Al-Saud, N. Tickhill, C. Potter, ... and M. Manogue, "Capturing Differences in Dental Training Using a Virtual Reality Simulator," *European Journal of Dental Education*, Vol. 22, No. 1, pp. 67-71, February 2018. <https://doi.org/10.1111/eje.12245>
- [33] N. Alsufyani, S. Alnamlah, S. Mutaieb, R. Alageel, M. AlQarni, A. Bukhari, ... and A. Faden, "Virtual Reality Simulation of Panoramic Radiographic Anatomy for Dental Students," *Journal of Dental Education*, Vol. 87, No. 8, pp. 1200-1209, August 2023. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00803-1>

2/jdd.13240

- [34] E.-J. Im and J.-G. Lee, "Virtual Reality-Based Tooth Carving Education and Practice System," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 21, No. 11, pp. 1905-1911, November 2020. <https://doi.org/10.9728/dcs.2020.21.11.1905>
- [35] S.-Y. Moon, B.-D. Choi, and Y.-L. Moon, "Virtual Reality for Dental Implant Surgical Education," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53, No. 12, pp. 169-174, December 2016. <https://doi.org/10.5573/ieie.2016.53.12.169>
- [36] J.-T. Park, J. H. Kim, M. Y. Kim, and J. H. Lee, "Effects of Educational Content for Dental Extraction Using Virtual Reality Technology on Dental Extraction Knowledge, Skill and Class Satisfaction," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 19, No. 2, pp. 650-660, February 2019. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2019.19.02.650>
- [37] C. M. Serrano, P. R. Wesselink, and J. M. Vervoorn, "Echte Patiënten in de Virtuele Realiteit: De Schakel Tussen Fantoom en Kliniek," *Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde*, Vol. 125, No. 5, pp. 263-267, May 2018. <https://doi.org/10.5177/ntvt.2018.05.17192>
- [38] I. Peker and M. T. Alkurt, "Evaluation of Radiographic Errors Made by Undergraduate Dental Students in Periapical Radiography," *The New York State Dental Journal*, Vol. 75, No. 5, pp. 45-48, August-September 2009.
- [39] A. Palumbo, "Microsoft HoloLens 2 in Medical and Healthcare Context: State of the Art and Future Prospects," *Sensors*, Vol. 22, No. 20, 7709, October 2022. <https://doi.org/10.3390/s22207709>



임지은(Ji-Eun Im)

2020년 : 남서울대학교 치위생학과 (학사)

2022년 : 남서울대학교 일반대학원 치위생학과(석사)

2022년~현 재: 남서울대학교 대학원 치위생학과 박사과정
※관심분야 : 가상현실 콘텐츠 개발 및 평가, 치위생학



이재기(Jae-Gi Lee)

2012년 : 연세대학교 (치의학박사)

2014년~현 재: 남서울대학교 치위생학과 부교수, 학과장
※관심분야 : 가상현실 콘텐츠 개발 및 평가, 응용해부학