

<원저>

방사선관리구역의 공간선량을 교육을 위한 가상현실 시뮬레이터의 개발과 유용성 평가

서정민

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

Development and Usefulness Evaluation of Virtual Reality Simulator for Education of Spatial Dose Rate in Radiation Controlled Area

Jeong-Min Seo

Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Abstract This study developed education contents of measuring spatial dose with virtual reality simulation and applied to students majoring radiological science. The virtual reality(VR) contents with measuring spatial dose rate in the radiation controlled area was developed based on the simulation from pilot study. In this simulation, the tube voltage and tube current can be set from 60 to 120 kVp in 10 kVp steps and 10 to 40 mAs in 10 mAs increments, and the distance from source can be set from 30 to 400 cm continuously. Iron and lead shields can be placed between the source and the detector, and shielding thickness can be set by 1 mm increments ranging from 1 to 20 mm. We surveyed to students for evaluating improvement of understanding spatial dose rate between before and after education by VR simulation. The survey was conducted with 5 questions(X-ray exposure factors, effects by distance from the source, effects from using shield, depending on material and thickness of shield, concept and measuring of spatial dose rate) and all answers showed significant improvement. Therefore, this VR simulation content will be well used in education for spatial dose rate and radiation safety environments.

Key Words : Radiation Generator, Radiation Safety, Virtual Reality, VR contents, Simulator

중심 단어 : 방사선발생장치, 방사선안전, 가상현실, 가상현실콘텐츠, 시뮬레이터

1. 서론

방사성동위원소 및 방사선발생장치를 사용하는 대학과 같은 교육 분야에서는 원자력안전법에 따른 방사선안전관리를 시행하여야 한다. 재학생들이 직접 방사성동위원소 및 방사선발생장치를 취급 및 조작하기 위해서는 방사선작업종사자로의 등록이 필요하며 방사선안전사고에 대한 위험의 심층적 관리와 함께 예산에 대한 부담이 증가하게 될 수 있다[1]. 가상현실 및 시뮬레이션을 활용한 교육을 적용하면 방사선안전관리상에서 발생할 수 있는 여러 문제점을 예방

할 수 있어 교육 분야를 포함한 여러 방사선 취급 분야에서 가상현실 등을 활용한 교육 및 훈련이 시도되고 있다. 시뮬레이션을 활용한 가상현실 시장은 2018년 79억 달러에서 연평균 성장률 33.47%로 증가하여 2024년에는 446억 8000만 달러에 이를 것으로 보고 있다. 우리나라 시장에서도 연평균 성장률 36.67%로 2024년에는 약 25억 3240만 달러에 이를 것으로 전망하고 있다[2].

재학생이 직접 방사선발생장치를 취급 및 조작하지 않고 가상현실과 같은 시뮬레이션을 활용한다면 방사선안전사고의 방지와 함께 공간상에서의 장비 분리와 같이 현실공간에

This paper was supported by RESEARCH FUND offered from Catholic University of Pusan

Corresponding author: Jeongmin Seo, Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan, #57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan city, 46252, Republic of Korea / Tel: +82-51-510-0581 / E-mail: thomas8@cup.ac.kr

Received 22 October 2023; Revised 30 October 2023; Accepted 7 November 2023

Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

서는 불가능한 교육까지 가능하게 된다[3]. 방사선을 취급하는 인력양성을 위한 교육에서 방사선발생장치의 사용에 따른 방사선관리구역 내의 공간선량률에 대한 교육이 필요하다[4]. 그러나 이러한 교육을 위하여 방사선이 발생하는 순간에 방사선관리구역 내에서 공간선량률을 직접 측정하는 것은 방사선안전관리에 큰 문제를 야기할 수 있으므로 방사선발생장치 사용시설 내에서의 공간선량률 측정을 위한 가상현실 시뮬레이션을 활용한다면 방사선안전사고의 위험성을 피하고 효과적인 교육이 가능할 것이다.

이에 본 연구에서는 사전 선행연구에서 개발한 방사선발생장치의 사용 방법과 구조를 교육하기 위한 PC기반 가상현실 시뮬레이션 환경을 추가적으로 개발하여 방사선관리

구역 내에서 방사선 사용에 따른 공간선량률을 측정하고 교육할 수 있는 교육용 시뮬레이터 콘텐츠의 프로토타입을 개발하고 그 유용성을 확인하였다.

II. 대상 및 방법

1. 방사선관리구역 내 공간선량률 측정 교육용 시뮬레이터 프로토타입 개발

선행연구[3]를 통하여 방사선발생장치의 기기학적 원리와 취급 및 조작 방법을 교육하는 PC 기반의 시뮬레이터 콘

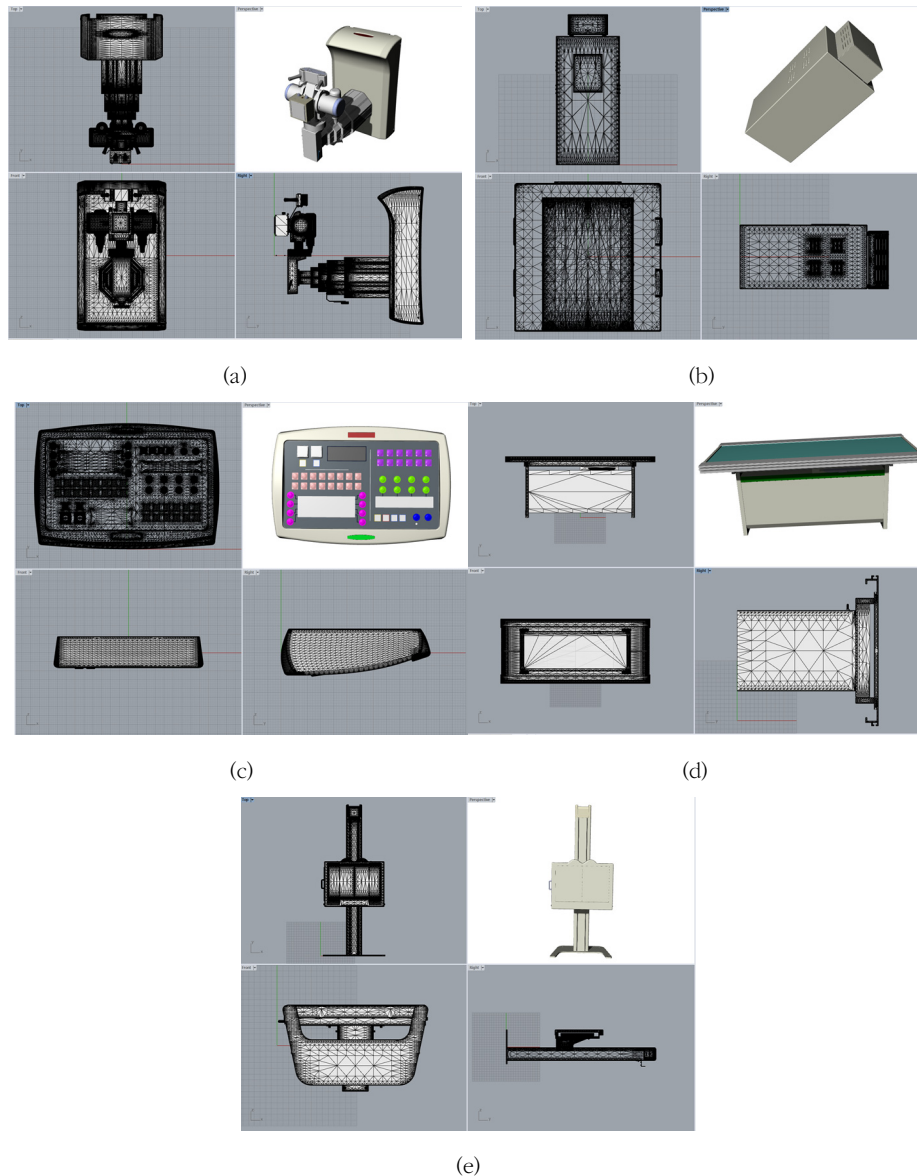


Fig. 1. 3D CAD modeling of each modules of (a) X-ray exposure part, (b) generator, (c) control console, (d) patient table, (e) stand bucky

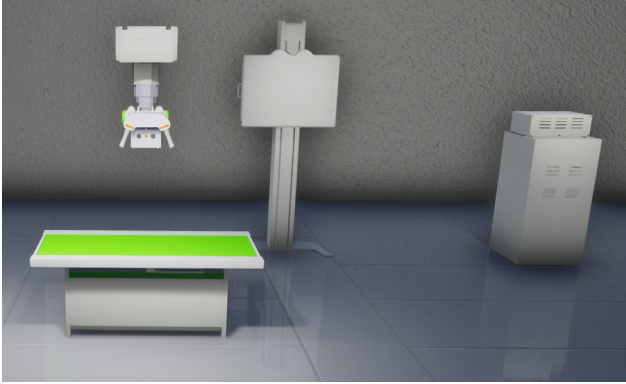


Fig. 2. Virtual reality 3D simulator space of radiation generator room

텐츠 프로토타입을 개발하였다. 본 콘텐츠는 방사선발생 장치의 기기학적 구조와 원리를 학습할 수 있고 간단한 취급 및 조작 방법을 교육할 수 있도록 설계되어 개발되었으며 Fig. 1과 같이 CAD object를 구성하여 Fig. 2와 같은 배치로 방사선관리구역 내의 방사선발생장치를 구성하였다.

해당 콘텐츠에 추가적으로 방사선관리구역 내에서 방사선발생장치를 사용할 때의 공간 방사선량률을 확인할 수 있도록 국내 대학 방사선학과와 방사선계측학과 방사선관리학의 공통적인 교육 내용을 기반으로 하여 각 교육의 학습목표 성취에 도움이 될 수 있도록 추가적인 콘텐츠를 설계하였다.

시뮬레이터의 콘텐츠 개발을 위하여 가상공간 내의 방사선발생장치 각 오브젝트 기본구성 설계와 렌더링은 3Ds MAX(Autodesk, US)를 이용하였고 가상공간 내의 각 모듈 구성과 시뮬레이터 프로그램 제작은 게임 개발용 플랫폼인 Unreal Engine(Epic Games, US)을 이용하였다.

1) 공간선량률 측정 모델링

시뮬레이션 가상공간 내에서 방사선량률 측정에 사용하는 측정기는 엑스선 조사조건과 측정위치 및 차폐물 조건에 따라 mSv/h 단위 또는 $\mu\text{Sv/hr}$ 단위로 값을 표현하도록 설정하였다. 엑스선 조사조건은 관전압과 관전류량의 값을 변화시킬 수 있도록 설정하였으며 관전압의 범위는 60 kVp에서 120 kVp까지 10 kVp 단위로 변화시켜 설정할 수 있도록 하였고 관전류량의 범위는 10 mAs에서 40 mAs까지 10 mAs 단위로 변화시킬 수 있도록 설정하였다. 조사조건과 거리에 따른 공간선량률 변화를 확인하는 것이 주목적인 관계로 조사면적은 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 로 고정하여 적용하였다.

방사선발생장치의 방사선발생 모듈을 기준점으로 설정하고 기준점으로부터 100 cm 거리에서 조사조건에 따른 실측값을 기준 데이터로 적용하였다. 각 조사조건에 따른 기준 데이터에서 기준점으로부터 측정기 사이의 거리 변화에 따른 측정값의

변화는 ‘거리 역제곱의 법칙’이 적용되도록 설정하였다.

2) 차폐물 모델링

방사선발생장치와 방사선측정기 사이에 차폐물이 존재할 때 선량률의 변화를 확인할 수 있도록 가상공간 내의 방사선발생장치와 측정기 사이에 철과 납 재질의 차폐판을 사용할 수 있도록 설정하였다. 각 차폐물의 넓이는 $1800\text{ mm} \times 1800\text{ mm}$, 두께는 1 mm에서 최대 20 mm까지 1 mm 단위로 두께를 변화시킬 수 있도록 구성하였다.

차폐물의 감쇠계수 설정은 주선속이 아닌 주변 산란선속의 에너지를 고려하게 되므로 각 재질의 샘플 차폐물을 적용하고 기준점으로부터 100 cm에서 측정된 공간선량 실측값을 이용하여 적용하였다. 각 차폐물의 선감쇠계수(cm^{-1})는 철 4.68, 납 27.43으로 설정하고 각 두께에 따른 공간선량률이 자동으로 계산되어 나타나도록 하였다.

2. 공간선량률 측정 교육용 시뮬레이터 콘텐츠의 유용성 평가

방사선관리구역 내의 방사선사용에 따른 공간선량률과 그 측정을 교육하기 위한 가상현실 시뮬레이터의 유용성을 평가하기 위하여 공간선량률 측정 교육용 가상현실 시뮬레이터 프로토타입을 활용한 교육을 시행하기 전과 후로 나누어 20명을 대상으로 설문을 시행하고 SPSS(SPSS Statistics 26, IBM, US)를 이용하여 대응표본 t-검정 분석을 시행하였다.

시뮬레이션을 통하여 방사선발생장치로부터의 거리에 따른 선량률 변화와 차폐물의 설정에 따른 선량률 변화를 직접 체험하도록 하였으며 거리 및 차폐에 따른 공간선량률의 변화에 대한 이해 정도에 따라 리커트 5점 척도를 적용하여 설문 문항을 제시하였다. 콘텐츠 체험을 통한 엑스선 조사 조건, 선원으로부터의 거리, 차폐물의 사용여부와 차폐물의 재질 및 두께에 따른 공간선량률의 변화에 대한 이해도 향상여부를 조사하였으며 설문 문항의 내용은 아래와 같이 다섯 가지의 이해도 정도를 확인하는 내용으로 구성하였다.

- * 엑스선 조사조건에 따른 공간선량률의 변화를 이해하고 설명할 수 있다.
- * 선원으로부터의 거리에 따른 공간선량률의 변화를 이해하고 설명할 수 있다.
- * 차폐물의 적용에 따른 공간선량률의 변화를 이해하고 설명할 수 있다.
- * 차폐물의 종류와 두께에 차폐효과를 이해하고 설명할 수 있다.
- * 공간선량률의 개념과 측정을 이해하고 설명할 수 있다.

III. 결과

1. 공간선량률 측정 교육용 시뮬레이터 프로토타입 개발 결과

1) 공간선량률 측정 모델링

관전압과 관전류량의 각 조건에서 기준점으로부터 100 cm 거리에서의 공간선량률은 mSv/h단위 또는 $\mu\text{Sv/hr}$ 단위로 측정값을 나타내도록 개발하였다. Fig. 3과 같이 기준점으로부터의 거리를 변화시키며 공간선량률을 측정할 수 있도록 하였으며 ‘거리 역제곱의 법칙’에 따라 변화된 값을 나타내도록 개발하였다. 기준점으로부터의 거리는 30에서 최대 400 cm까지 변화시키며 측정값을 제시할 수 있도록 개발되었다.

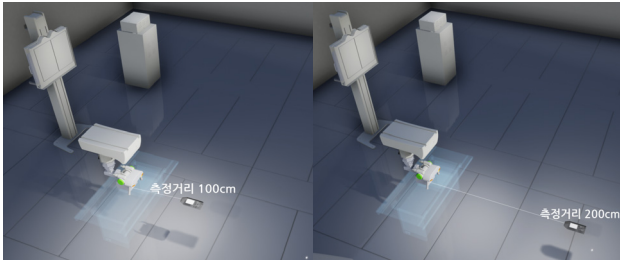


Fig. 3. Position of detector according to measuring distance in virtual space

2) 차폐물 모델링

철과 납 재질의 차폐물을 Fig. 4와 같이 배치하여 적용할 수 있도록 하였으며 각 재질의 차폐물을 각각 사용하거나 동시에 두 재질을 함께 적용할 수 있도록 개발되었다. 또한 각 차폐물의 두께에 따라 설정된 감쇠계수에 따른 공간선량률의 변화를 자동으로 계산하여 나타내도록 개발되었다.

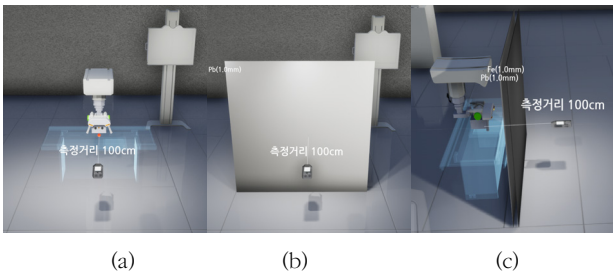


Fig. 4. Dose rate measuring via shielding material, (a) not using shield, (b) applying to use shield, (c) applying double shields materials

2. 공간선량률 측정 교육용 시뮬레이터 콘텐츠의 유용성 평가

공간선량률 측정 교육용 가상현실 시뮬레이터 프로토타입을 활용한 교육을 시행하기 전과 후로 나누어 시행한 설문문의 결과를 통하여 엑스선 조사조건, 선원으로부터의 거리, 차폐물의 사용여부와 차폐물의 재질 및 두께에 따른 공간선량률의 변화에 대한 이해도 향상여부를 확인하였다. 모든 영역에서 교육 전과 후에 유의한 차이($p < .05$, Table 1)가 나타나는 향상을 보였으며, 가상공간 시뮬레이터의 사용이 방사선발생장치를 사용하는 공간에서의 공간선량률의 이해에 도움이 되는 것으로 나타났다.

Table 1. Results of comparing survey for using virtual simulator

Category for understanding of spatial dose rate	Before education	After education	ρ
X-ray exposure factors	2.35 ± 0.875	3.95 ± 0.875	
Effects by distance from the source	2.25 ± 0.716	3.70 ± 0.733	
Effects from using shield	2.20 ± 0.523	3.70 ± 0.801	< 0.05
Depending on material and thickness of shield	2.10 ± 0.718	3.55 ± 0.998	
Concept and measuring of spatial dose rate	2.55 ± 0.604	4.00 ± 0.794	
Total	2.29 ± 0.700	3.78 ± 0.848	< 0.05

IV. 고찰

본 연구에서 개발한 공간선량률 측정 교육용 가상현실 시뮬레이터 프로토타입은 방사선발생장치를 사용하는 방사선 관리구역 내에서 엑스선이 조사되는 시점에서의 공간선량률을 여러 조건에서 확인할 수 있도록 개발하였다. 대학과 같은 교육기관의 재학생이 방사선발생장치를 취급 및 조작하기 위해서는 방사선작업종사자로 등록되어 관리되어야 하고 방사선안전관리 차원에서 업무와 예산의 부담이 발생된다. 또한 재학생을 수시출입자로 관리하면 방사선발생장치에 대한 취급 및 조작이 불가하여 실습의 수행이 어렵다. 의료 분야에서 사용하는 진단용 방사선 발생장치를 대학에서 교육 및 실습용으로 사용하게 되면 의료 분야와 달리 원자력안전법의 규제대상이 되어 재학생에 대한 엄격한 방사선안전관리가 필요한 상황이기 때문이다[1]. 이에 가상현실 시뮬레이터를 활용하는 교육을 통하여 방사선안전규제 문제의 위험을 피하고 효과적인 교육이 가능할 것으로 사료된다.

이러한 가상현실을 활용한 교육방법은 여러 분야에서 적용하기 위하여 시도되고 있으며 교육부에서 2019년에 이러닝의 개념에 증강현실 및 가상현실과 같이 정보통신기술을 활용한 차세대 교육을 명시적으로 포함시켜 에듀테크 기술의 개발과 산업 활성화를 위한 관련법이 발의되어 교육 분야에서 매우 활성화 될 것으로 사료된다[5]. 원자력발전 분야에서는 방사선안전관리 차원에서 이미 예전부터 가상현실을 이용한 교육훈련이 빈번하게 시행되고 있으며[6] 방사성폐기물의 저장실 관리를 위한 가상현실 훈련 콘텐츠도 활용되고 있다[7]. 비파괴 검사의 방사선투과검사 분야에서도 가상현실 시뮬레이션을 이용한 교육이 필요하며 Lee 등의 연구에서 감마선원장비의 기계적 구성 학습과 사용법 훈련이 가능한 시뮬레이터를 개발하여 활용하고자 하고[8] Park 등의 연구에서도 혼합현실 교육훈련 시스템을 개발하여 방사선비파괴 작업종사자의 교육에 활용하는 방안을 제시하고 있다[9].

Chae 등의 연구에서는 산업분야에서 선상 밀폐공간의 작업훈련에 동영상 시청과 같은 단방향 교육보다 가상공간을 활용한 상호작용 학습이 학습효과와 교육방식의 선호도에 유의미하게 양호한 결과를 보였다[10]. 이처럼 컴퓨터 프로그램 기반의 가상공간에서 사용자가 마치 현실처럼 물체들과 상호작용을 하는 가상공간 기반 안전교육콘텐츠의 제공은 여러 분야에서 매우 유용한 도구가 되고 있으며 Lee의 연구에서는 이와 같은 행동주의 이론에 바탕을 둔 가상공간 기반 체험 안전교육은 기존의 교육방식보다 효과가 높아 실제 작업에 존재하는 위험요인의 제거는 물론 함께 작업을 수행하는 팀원 간의 협동심 상승 등의 효과도 기대할 수 있다고 한다[11].

방사선안전관리가 필요한 방사선 교육 분야에서도 가상공간을 활용한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며 Kwon 등의 연구에서는 360도 촬영용 카메라를 이용하여 가상공간의 체험을 할 수 있도록 한 사례가 있다[12]. 또한 Shim 등의 연구에서도 가상현실 교육 콘텐츠를 활용하여 학생들을 교육하였을 때에 자발적인 자기 주도적 학습과 학업 만족도에서 효과를 보인다는 보고가 있다[13]. 또한 Park 등의 연구에서는 방사선 안전교육 시뮬레이터를 혼합현실에 접목하여 개발한 연구도 보고되고 있다[14]. 심지어 사용자가 직접 게임 개발용 플랫폼을 이용하여 가상현실 시스템을 구축하는 연구도 Sato 등의 연구에서 찾아볼 수 있다[15]. 이처럼 사용자가 직접 필요한 가상현실 콘텐츠를 만드는 시대가 다가오고 있다고 사료된다. Hwang 등의 연구에 따르면 의료 및 보건분야에서도 가상현실 콘텐츠를 활용한 교육은 다양하게 시도되고 있으며 의료술기 콘텐츠의 학습몰입

을 유도하여 효과적인 의료교육을 향한 연구들이 활발하다[16]. 또한 Seo 등의 연구에서 가상현실 콘텐츠 제작으로 사용된 3D 모델을 의료분야에서 사용하는 DICOM 영상으로 변환하여 각종 의료기술에 적용하는 사례가 가능한 보고도 있다[17].

방사선전문인 육성을 위한 교육에서 방사선의 취급을 위한 이론교육을 넘어서 직접 체험을 통한 실습교육이 이루어져야 학습의 효과가 증대될 것이라는 것은 논란의 여지가 없을 것이다. Moon 등의 연구에서 방사선학과 대학생을 대상으로 공간선량 측정 경험이 방사선 안전에 미치는 영향을 연구하였으며 학생이 직접 방사선관리구역 내의 공간선량을 측정하고 그 결과를 확인함으로써 거리에 따른 공간선량의 변화에 대한 이해도와 방사선안전에 대한 인식도가 유의하게 개선되는 것을 확인하였다[4]. 본 연구의 설문조사 결과에서도 볼 수 있듯이 가상현실 시뮬레이터를 이용하여 여러 조건에서의 공간선량률 측정을 직접 실습함으로써 선원으로부터의 거리와 차폐물의 적용에 따른 공간선량률의 변화에 대한 이해도가 유의하게 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

방사선관리구역 내의 공간선량은 방사선 조사대상인 피검체가 있는 경우 그 두께와 함께 피검체에 대하여 방사선을 조사하는 조사면적의 크기에 의한 영향을 받으나 본 연구에서 개발한 가상현실 시뮬레이션 콘텐츠에는 이와 같은 부분은 반영하지 않았으며 공간선량에 영향을 주는 산란선의 에너지에 의한 차폐체의 감쇠계수 결정이 아닌 실측을 통하여 유도한 선감쇠계수를 사용하는 점 등은 본 연구의 한계점으로서 후속 연구에서 추가적인 개선과 개발이 필요할 것으로 사료된다.

또한, 향후에는 공간선량에 의한 방사선의 생물학적 영향에 대한 인식과 방사선안전에 대한 인식도를 향상할 수 있는 교육으로 연계하여 방사선 전문인으로서의 직업윤리의식과 방사선안전의식을 높이고 의료방사선분야의 방사선안전문화 정착에 기여할 수 있도록 교육을 이어나가야 하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 사전 선행연구에서 개발한 방사선발생장치 기기의 학습과 장치의 기본적인 취급법 등을 수행할 수 있는 가상현실 콘텐츠를 기반으로 방사선관리구역에서의 공간선량률을 다양한 조건에서 확인할 수 있는 체험교육을 할 수 있는 가상현실 시뮬레이션 콘텐츠를 개발하였다.

본 콘텐츠를 활용하여 방사선안전사고의 발생이 전무한 환경에서 시간과 공간의 제한 없이 양질의 방사선측정 교육이 가능할 것으로 사료되며 더 나아가 방사선안전문화 정착을 위한 교육으로 연장하여 방사선 전문인의 양성에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Ko JK, Jeon YR, Han EO, Cho PK, Kim YM. Comparison of the legislation applicable to compare the use of diagnostic radiation devices. *J. Radiological Science and Technology*. 2015;38(3):277–86. DOI: <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2015.38.3.12>
- [2] Innopolis Foundation. Global market trend report, Market of VR, INNOPOLIS. 2021:1–18. Retrieved from <https://www.innopolis.or.kr>
- [3] Seo JM. Development and usefulness evaluation of simulator for education radiation generator. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(6):591–7. DOI: <http://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.6.591>
- [4] Moon JM, Park ST, Yu JH. Radiological safety perception change after spatial dose measurement of radiology department students. *Journal of Radiation Protection and Research*. 2015;40(3):174–80. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10054120>
- [5] Chun HS. Application of virtual reality in the medical field. *ETRI*. 2019;34(2):19–28. DOI: <http://dx.doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340203>
- [6] Freitas VGG, Carlos A. Virtual reality for operational procedures in radioactive waste deposits. *Progress in Nuclear Energy*. 2014;71:225–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2013.11.003>
- [7] Katsumi H, Yuuki K, Masashi T. Simplified virtual reality training system for radiation shielding and measurement in nuclear engineering. *Progress in Nuclear Energy*. 2020;118:103–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103127>
- [8] Lee JS, Kim DH. Development of radiation safety education contents for the Radiographic Test(RT) using unreal engine base on the 3D-simulator, *J. Korean Soc. Nondestructive Testing*. 2020;40(1):33–41. DOI: <http://doi.org/10.7779/JKSNT.2020.40.1.33>
- [9] Park HH, Shim JG, Park JK, Son JB, Kwon SM. A development of a Mixed-Reality (MR) education and training system based on user environment for job training for radiation workers in the nondestructive industry. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2021;15(1):45–54. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.1.45>
- [10] Chae CJ, Lee JW, Jung JK, Ahn YJ. Effect of virtual reality training for the enclosed space entry. *J. Korean Society of Marine Environment & Safety*. 2018;24(2):232–7. DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.2.232>
- [11] Lee YW. The current situation and prospect of safety education contents based on VR. *JKIICE*. 2020;24(10):1294–9. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.10.1294>
- [12] Kwon SM, Shim JG, Chon KW. Implementation of radiotherapy educational contents using virtual reality. *J. Korean Soc. Radiol*. 2018;12(3):409–15. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.3.409>
- [13] Shim JG, Kwon SM. Analysis of learning effect through the development and application of Virtual Reality(VR) education content for radiology students. *J. Radiological Science and Technology*. 2020;43(6):519–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2020.43.6.519>
- [14] Park HH, Shim JG, Kwon SM. Mixed reality based radiation safety education simulator platform development: Focused on medical field. *J. Radiological Science and Technology*. 2021;44(2):123–31. DOI: <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2021.44.2.123>
- [15] Sato Y, Terasaka Y, Ozawa S, Tanifuji Y, Toril T. A 3D radiation image display on a simple virtual reality system created using a game development platform. *J. of Instrumentation*. 2018;13:T08011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/13/08/T08011>
- [16] Hwang HH, Choi YM. Affordance elements according to the usability of the interface of immersive virtual reality clinical skill content. *Journal of the Korea Contents Association*. 2022;22(6):307–18. DOI: <https://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2022.22.06.307>

- [17] Seo JM, Han MC, Lee HS, Lee SH, Kim CH, Development of 4D CT data generation program based on CAD models through the convergence of biomedical engineering. Journal of the Korea Convergence Society. 2017;8(4):131-7. DOI: <http://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.4.131>

구분	성명	소속	직위
단독	서정민	부산가톨릭대학교	교수(박사)

