원전 방사능 누출 사고 대비 지자체 비상요원용 훈련 시나리오 개발

Development of a Radiological Training Scenario for Local Government Staff in the Case of a Radioactivity Release Accident at a Nuclear Power Plant

김태영* · 이경호** · 이운장*** · 정세원**** · 하승현***** · 채산*****

Kim, TaeYoung*, Lee, KyungHo**, Lee, UnJang***, Chung, SeWon****, Ha, SeungHyun*****,
and Chae, San*****

Abstract

After the Fukushima accident in March 2011, there has been an increase in radiological preparedness exercises among local governments, residents near nuclear power plants, as well as the owners of the plants. Radiological preparedness exercises were also strengthened in the areas closer to the nuclear power plants. To maximize the efficiency of radiological preparedness exercises, the countermeasures against various virtual accidents must be taken efficiently. Therefore, an optimal virtual radiological preparedness exercise training system was developed using virtual reality. This paper shows the cases developed in the training system based on virtual reality aimed for local government staff to respond efficiently in case of an accident. A training program was established for local government staff near nuclear power plant based on the developed cases.

Key words : Radioactivity Release Accident, Radiological Preparedness Exercise, Virtual Reality Training, Precautionary Action Zone, Urgent Protective Action Planning Zone

요 지

2011년 3월 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 방사능방재훈련에 대한 관심이 원자력발전소 운영자 외 원자력발전소 주변 지자체 및 지역 주민을 위주로 크게 대두되었고 원자력발전소 주변 지역에 대한 방사능방재훈련도 강화되었다. 방사능방재훈련의 효율을 극대화하기 위해서는 여러 가상 사고를 고려한 대처가 효율적으로 이루어져야 하며 특히 지자체 비상요원의 대처가 중요하기 때문에 돌발상황(교통체증, 도로 유실 등) 및 복합재난(폭우, 지진 등)도 고려한 지자체 비상요원을 위한 가상현실에 기반한 최적화된 방사능방재 가상훈련시스템을 개발하고자 하였다. 본 논문에서는 원자력발전소 방사능 누출 사고 시 지자체 비상요원이 사고를 효율적으로 대응할 수 있도록 사건 이벤트 단위별로 지자체 비상요원에 대한 가상현실 기반의 훈련 시나리오 개발 사례를 기술하였고, 원자력발전소 주변의 지자체 비상요원에 대한 훈련 프로그램을 구축하였다.

핵심용어 : 방사능 누출 사고, 방사능방재, 가상현실훈련, 예방적보호조치구역, 긴급보호조치계획구역

*교신저자, 정회원, (주)오리온이엔씨 대리(Tel: +82-2-3414-2032, Fax: +82-2-3414-2031, E-mail: tykim@orionenc.com)

Corresponding Author, Member, Assistant Manager, ORION EnC Co. Ltd.

** (주)오리온이엔씨 부사장(E-mail: khlee@orionenc.com)

Vice President, ORION EnC Co. Ltd.

*** (주)오리온이엔씨 대표이사(E-mail: uilee@orionenc.com)

President, ORION EnC Co. Ltd.

**** (주)오리온이엔씨 전무(E-mail: sewon@orionenc.com)

Principal Researcher, Orion EnC Co. Ltd.

***** (주)오리온이엔씨 대리(E-mail: shha@orionenc.com)

Assistant Manager, ORION EnC Co. Ltd.

***** (주)오리온이엔씨 대리(E-mail: schae@orionenc.com)

Assistant Manager, ORION EnC Co. Ltd.

1. 서 론

Three Mile Island (TMI) 원전 사고, 체르노빌 원전사고, 후쿠시마 원전사고 등 세계 곳곳에서 원전사고가 발생하였고, 특히 인접국인 일본에서 2011년 3월에 발생한 후쿠시마 원전사고(IAEA, 2015), 2011년 국내에서 발생한 서울 노원구 월계동 아스팔트 방사능 오염사건 등으로 인해 방사선 및 원자력 사고에 대한 국민적 관심이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 또한 국내의 경우, 지진 및 원전사고는 무관하다 생각되어 국민적 관심이 미미하였지만 최근 지진 발생빈도가 잦아지고, 지진 발생 규모가 커짐에 따라 국내에서도 지진 발생 시 원전들의 안전여부에 촉각을 기울이고 있는 상황이며, 이에 대한 국민적 관심 또한 고조되고 있는 추세이다. 국내의 경우 원자력발전소는 고리 1호기가 2017년 6월에 영구정지되어 부산시 기장군 장안읍에 위치한 고리원자력 본부에는 고리 2~4호기가 가동 중이고, 울주군 서생면에 위치한 새울원자력본부는 신고리 1~3호기가 가동 중이다. 한빛원자력본부에는 총 6기가 가동 중이고 월성원자력본부는 월성 1~4호기 및 신월성 1~2호기 등 총 6기가 가동 중이며 한울원자력본부는 한울 1~6호기가 가동 중이어서 국내에는 전체 24기가 가동 중이다. 건설 중인 원전은 신고리 4호기(준공 2019년 8월 예상), 신한울 1~2호기(준공 2019.11 및 2020.9월 예상) 및 신고리 5~6호기(준공 2022.3 및 2023.3월 예상) 등 총 5기이다. 국내의 경우, 신고리 1호기부터는 국내 기술자립으로 이어지는 Advance Pressurizer Reactor (APR) 1400형으로 용량은 1,400 Mwe이다. 한빛 3호기 이후는 최초로 국내 기술자립 된 Optimized Power Reactor (OPR) 1000형으로 용량은 1,000 MWe이다.

예기치 않은 원전 사고가 발생할 경우, 원전 주변에 거주하는 주민들에 대한 방사능 피폭 등의 피해를 최소화하고, 원전사고에 대한 심리적 불안감 및 공포감을 해소하기 위해서 원전 사고에 대한 대응 요령과 훈련이 필수적으로 요구되며, 현재 정부와 관련기관에서 원전사고 시 대응 매뉴얼을 제작·배포하고, 주민들을 대상으로 방사능 비상상황에 대한 방재교육과 훈련을 실시하는 등 각종 노력을 기울이고 있지만 시공간적 한계가 있기 때문에 학습 효과는 기대에 미치지 못하고 있는 실정이다(Lee et al., 2016). 원전사고에 대비한 정부 및 지자체의 현장조치는 재난 및 안전관리기본법, 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법, 민방위기본법, 국가위기관리기본지침(대통령훈령 제342호)에 국민 안전을 위한 기본적인 사항이 언급되어 있으며 원전안전분야(방사능 누출) 위기관리 표준매뉴얼(원자력안전위원회), 원전안전분야(방사능누출) 위기대응실무매뉴얼(식품의약품안전처) 및 각 지자체 및 정부기관의 원전안전 현장조치 행동매뉴얼 및 방사능방재계획 등에 원전 사고 시 행동요령에 대하여 자세히 언급되어 있다.

국내에서 수행된 선행연구의 경우, 방사능 누출 사고 시

학교에서 적용할 수 있는 대응 매뉴얼 개발에 관한 연구가 수행되어 각 상황에 따른 학생과 교직원의 효과적인 대응방법을 매뉴얼과 교육교재로 제시하였고(한국원자력안전기술원 발행, 2012년), 한국원자력연구원에서는 현행 원자력 기술행정체제에 대한 문제점 분석과 보완 및 개선방안을 제시하였다. 국외에서 수행된 선행연구의 경우, Gomes et al. (2014) 등이 방사능 비상 대응 시뮬레이션에 관한 연구를 수행한 것으로 조사되었다.

현행 방사능 대응 훈련은 직접 오감으로 느끼며 대응 훈련을 수행할 수 없기 때문에 현재 문서화된 자료 또는 비디오 등의 자료로만 대응 훈련을 수행하는데 한계가 있다.

그러나 가상현실 기술의 경우, 시공간적 한계에 제한이 없고, 실제 사고 상황과 유사한 환경을 사용자에게 제공할 수 있다는 장점이 존재한다. 2015년 정부에서는 가상훈련 공통 표준플랫폼을 골자로 하는 가상훈련시스템을 13대 산업엔진프로젝트로 선정한 바 있으며, 2020년경에는 가상현실 및 증강현실이 다방면에서 생활에 더욱 밀접하게 적용될 것이라고 예상하고 있지만 원전사고 관련 훈련 및 교육을 목적으로 한 시스템 개발 사례는 선진국에 비하여 매우 미흡한 실정이다. 국외 가상현실 훈련 시장은 이미 본격적인 성장기에 진입하고 있으며, IT, 군사, 원자력, 게임, 의료, 교육 등을 위한 다양한 산업 분야로 적용되고 있고, 특히 미국의 경우에는 군사 전술훈련 및 사격 훈련 등 저비용, 고효율의 가상현실 시뮬레이터를 개발하여 실전에 배치해서 활용하고 있다.

따라서 본 연구는 원전 사고 시 방사능 누출 사고를 대비하고, 인적 및 물적 피해를 최소화하기 위하여 실제 원전사고를 모사한 다양한 콘텐츠와 기능이 장착된 가상현실을 활용한 지 자체 비상 요원을 대상으로 가상현실 방재훈련 시나리오에 입각한 방재 훈련이 현실감 있게 실시될 수 있도록 하였다. 또한 본 방재훈련 시나리오의 습득을 통하여 지 자체 비상 요원들을 대상으로 한 가상훈련에 대한 효율성을 제고할 수 있고 훈련범위 및 훈련정도를 최적화할 수 있다.

2. 가상현실(VR) 훈련시스템의 필요성

2.1 현행 훈련시스템의 한계

현행 방재교육 및 훈련의 경우, 교재 및 학습자료를 통한 교육과 실제 사고 상황을 모사한 대피 훈련을 실시하고 있다. 하지만 후쿠시마 원전사고와 같이 지진 또는 쓰나미 등의 자연재해가 동반된 원자력발전소 사고를 고려 시, 원전 주변 지역의 도로, 교량, 통신시설 등이 모두 마비된 상황이기 때문에 체계적으로 제작된 방사능 방재훈련 프로그램조차도 제대로 작동하기 어렵고, 일반적으로 원전에서 수행되는 방재훈련은 이러한 심각한 자연재해 상황을 모사하는데 한계가 있어 교육효과가 기대치에 못 미치게 된다. 현장 방사능 방재훈련도 교량붕괴, 도로파손, 통신망 마비 등의

상황을 단순히 가정한 상태에서 훈련이 진행되고 있어 실제 상황과 같은 긴박감과 긴장감을 느끼기에 한계가 있기 때문에 훈련의 효과가 만족스럽지 못하고 실제 사고 시 적절한 대처가 어려운 실정이다. 최근에는 온라인 교육시스템을 활용하는 경우가 있으나 학습 몰입도에 제한이 있기 때문에 교육 효과를 극대화하는데 어려움이 존재한다.

2.2 가상현실(VR) 훈련시스템

가상현실 훈련시스템은 여러 물리적 제약이 따르지 않기 때문에 훈련장에 동원되지 않아도 효율적인 훈련 효과를 도출해낼 수 있고, 특수한 사고 상황을 연출하여 경험할 수 있다는 장점이 있으며, 반복적인 학습이 가능하여 상황에 따른 대처요령을 확실히 숙지할 수 있기 때문에 시간적, 금전적 비용이 절감되는 효과까지 기대할 수 있다. 더불어 가상현실 훈련시스템이라는 새로운 기술영역 개척에 기초를 제공할 수 있고, 기타 재난 훈련 시스템의 프로토타입으로 발전할 가능성이 있기 때문에 기술적 측면에서의 파급효과가 있다. 산업적 측면에서도 동일한 어려움을 겪고 있는 중국, 일본 및 유럽 등 타원전국가로의 해외 수출 가능성이 높다. 또한 일반 주민들의 방사능에 대한 불안감 해소로 주민수용성에 개선이 될 수 있고, 상호신뢰를 확대하여 사회 안정성 및 갈등완화로 간접비용을 절감할 수 있는 효과가 있다. 또한 가상훈련시스템은 주민수용성 등 에너지 정책 운영에 긍정적 효과를 기대할 수 있다는 사회적 파급효과도 존재하며, 원자력 기술행정(방재 교육 및 훈련)체제의 효율성을 제고하고 사고 시 실질적인 대응역량을 강화할 수 있는 다양한 장점을 갖고 있다.

3. 시나리오 구성 방법

본 연구에서는 원전 방사능 누출 사고 시, 지역방사능방재 대책본부와 같은 지자체 대응 부서의 대응 역량 강화를 위한 가상현실 콘텐츠에 적용할 수 있는 훈련 시나리오를 개발하고자 하였으며, 일반적 개요, 지자체 방사능방재 대응조직(대피 유도반, 비상 수송반, 구호소 운영반)별 행동요령, 수행임무 평가방법 등에 대하여 기술하였다. 또한 각 이벤트 단위에서 따라 출력되는 비디오, 오디오, 행동을 기술하여 가상현실 시나리오를 제작하였으며, 시나리오 구성방법은 Fig. 1에 나타내었다.

방사능누출 사고 발생 이후 비상요원이 수행하여야 할 임무에 따른 이벤트 단위를 결정하고, 결정된 이벤트에 대한

여 훈련 주제가 결정되므로 그 중 주요 이슈와 주요 상황을 고려하여 VR 구현 대상을 결정하고, 각 대상에 대한 주변 환경, 훈련액션, 오브젝트 등을 고려한 개발 변수를 결정된 뒤 마지막으로 시나리오 구성 방법 및 제작 단계를 고려한 연구가 수행되었다.

3.1 이벤트 단위 결정

방사능 누출 사고에 대한 이벤트 단위를 결정하기 위해서 Table 1에 나타난 방사선비상등급(원전안전분야 위기관리 표준매뉴얼 및 지자체 현정조치 행동매뉴얼 정의에 따른 백색, 청색, 적색 경보)에 따른 방사능방재에 관련한 법규 및 규정, 국가방재체계와 대응기관의 역할, 훈련시나리오, 훈련 단계에서의 주요 이슈, 통신, 교통, 기상조건, 주민 환경 등을 주요 변수로 검토하였다(NSSC, 2014). 또한 본 연구에서는 주민보호조치 관점에서 이장과 현장 지자체 비상요원이 주민보호조치를 직접적으로 유도하는 역할을 수행하는 요원이므로 훈련 대상자를 사고지역의 이장 및 현장 비상요원으로 결정하였다.

본 연구에서는 상기 내용을 변수로 고려하여, Table 2와 같이 비상요원용 방사선 비상 등급별 이벤트 단위를 구성하였다. 훈련대상자가 이장일 경우 청색경보 발령 시에 비상상황을 접수하고, 주민 옥내대피조치, KI (Potassium Iodine) 수령을 이벤트 단위로 구성하였고, 적색경보 시에는 비상상황을 접수하고, 주민집결지로 이동조치, KI 복용조치, 방사능 누출 사전 소개조치, 음식물 섭취제한 조치로 이벤트 단위를 구성하였다. 한편, 현장비상요원은 주민수송차량이 구호소에 도착한 후 주민들의 인체오염여부를 판단하기 위하여 주민오염검사를 실시하고, 오염인원 발생 시 환자분류 및 후송 조치를 취하거나 제염 실시 등 현장에서 발생된 방사성폐기물 관리를 이벤트 단위로 구성하였다.

3.2 이벤트단위 별 주제 결정

3.2.1 이벤트단위 주제 결정 요인

청색경보는 청색비상 발령, 청색비상 인지, 옥내 대피, 주민 보호조치 등 이장의 역할에 대한 훈련의 주제가 결정되도록 하였고, 적색경보는 적색비상 발령, 적색비상 인지, 주민집결지 이동, KI 분배/복용조치, 옥외 대피소 이동 등에 대한 이장과 현장 대응요원의 역할에 대하여 훈련의 주제가 결정되도록 하였다. 세부적으로 청색비상을 인지할 경우, 청색 비상 상황 전달 수단과의 접촉 및 환경을 고려하도록

Fig. 1. Configuration Method of Scenarios

Table 1. Event Unit and Site Response Action During White, Blue and Red Emergency

Event Unit	Definition	Site Response Action
White Alarm	1) Standard Manual: Emergency state that the effects by the release of radioactive materials are expected to be confined inner nuclear facility 2) Local Office Manual: Accident that the damages of sealing state of radioactive materials or the damages of power supply function which gives the keeping of safety state of nuclear facilities, etc.	- Report of emergency announcement - Emergency action against accident enlargement - Operation of emergency response by the owner - Operation of Site Preparedness Countermeasure division (Situation room and comprehensive information center)
Blue Alarm	1) Standard Manual: Emergency state that the effects by the release of radioactive materials are expected to be confined in the site of nuclear facility 2) Local Office Manual: Accident that damages in main safety function of nuclear facilities can occur or will occur due to the degradation of recovery state to safety state during White Alarm	- Implement response action White Alarm - Operation of Emergency Countermeasure Division by the owner - Operation of Central Radioactivity Preparedness Countermeasure Division - Set-up and Operation of Site Radioactivity Preparedness Control Center - Operation of Technical and Medical Support Organization - Enlargement and Operation of Site Radioactivity Preparedness Countermeasure Division
Red Alarm	1) Standard Manual: Emergency state that the effects by the release of radioactive materials are expected to be affected outer of nuclear facility 2) Local Office Manual: Accident that damages in final barrier of nuclear facilities can occur or will occur due to core damage or melting, etc.	- Implement response action in Blue Alarm - Review of announcement of radioactivity disaster occurrence - Perform protective action for residents near nuclear facilities

Table 2. Unit of Events by Radiation Emergency Grade

Emergency Grade	Target	Contents
Blue Alarm	Head of Village	Emergency Reception, Inner Place Escape Action, KI Delivery
Red Alarm	Head of Village	Emergency Reception, Dose Evaluation Reception, Resident Gathering Place Movement Action, KI Distribution/Taking Action, Evacuation Action, Food Ingestion Prohibition Action
	Site Response Staff	Contamination Inspection, Separation of Patents, Radioactive Waste Management

하고, 옥내 대피는 대피 소요시간과 이동환경 및 조건을 고려하도록 하였다. 주민 보호조치는 원자력발전소 사고 상태, 주민보호조치 결정 기준 및 적용 방법, 예상피폭선량 예측, 기상상태의 변화, 건강 및 환경에 미치는 영향 평가, 복구, 재가동 및 청소(제염) 문제의 해결방안, 주민의 행동 및 반발에 대한 권리보장과 각 주민의 권리는 동등하다는 원칙, 주민의 안위, 사회심리적인 영향 및 정치적 측면 등을 고려하여 주제가 결정되어야 하며 오염물질의 유입 차단과 내부에서 외부로의 확산 방지가 주요 주제의 결정 요인이 된다(Park and Ha, 2003; Cha et al., 2017). 한편, 적색비상 인지는 청색 비상 인지의 경우와 동일하게 적용되며, 집결지 이동도 옥내 대피의 경우와 동일하게 적용된다. KI의 분배 및 복용의 경우는 분배 및 복용법에 대한 세부 지침이 있어야 하며 구조소 이동의 경우 안전요원의 지시 순응 및 이동방법과 이동 환경이 이벤트의 주요 결정 요인이 된다. 오염검사의

경우 안전요원의 지시에 순응하는 것이 이벤트의 주요 결정 요인이다.

3.2.2 이벤트단위 주제 결정 성공 및 실패 요인

실제 방사능 누출 사고 시 누출 사고의 억제 및 주민 보호적 측면에서 이벤트 단위의 성공적 수행 요인을 가정한 주민 대처 능력의 배양이 필요하다. 따라서 다양한 사건 발생 요인을 방재 프로그램에 반영하여 주민 및 지자체 요원이 가상현실로 경험토록 하는 것이 효과적이다. 이벤트 단위의 경우 여러 가지 실패 및 성공 사례가 보고되고 있다(Lee et al., 2017). 실패 요인들은 크게 내부 요인과 외부 요인으로 구분이 가능하다. 내부 요인의 경우, 순응(Obeyance) 및 불순응(Non Obeyance) 요인으로 구분되며, 불순응 상황은 현장 요원의 통제를 거부하거나 거부 행위의 돌발적 행동을 의미한다. 외부 요인은 물리적 또는 사회적 요인으로 구분되며

일반적 요인과 복합 재난 요인으로 구분된다. 일반 요인은 모든 외적 환경의 변화 요인을 말하며 복합 재난 요인은 대규모 지진이나 해일 등 심각한 수준의 외적 환경 변화가 포함된 요인을 말한다. Table 3은 청색경보 시, 주요 이벤트 단위 주제 결정에 대한 주요 성공 및 실패 요인의 예를 보여준다. 사소한 경우 이지만, 취침 및 라디오 등 청취 발송을 못 들은 경우가 실패의 원인으로 제공되는 사례도 있으므로 사고 시를 대비하여 청취 훈련 또는 주민의 이웃에 대한 관심 등 주민소통훈련의 필요성도 중요한 변수로 작용한다.

3.3 가상현실 대상 및 개발 변수 결정

3.3.1 가상현실 대상 결정

지자체 요원을 위한 가상현실의 대상을 결정하기 위해서

는 비상 발령 시 지자체의 주된 업무의 분석이 필수적이다. Table 4는 한빛원전 사고 시 전라남도의 비상 사고 대책 책임부서의 주된 업무를 보여준다. 전라남도의 경우, 도민안전실 산하 사회재난과에서 비상 시 관련 업무를 수행하게 되며 평시에는 전라남도 행정협의회를 운영을 주도하나 비상시에는 지역대책본부를 발족 운영하게 된다. 건설교통국, 농축산식품국, 소방본부, 경찰청, 기상청, 교육청, 환경정책관을 중심으로 비상 사고 시 주어진 역무에 대한 임무를 수행하게 된다. 가상현실과 관련된 주된 업무는 도 현장 대응팀의 현지 파견, 보호조치 및 구호, 구호소 활동, 방사능 통제구역 출입 제한 및 치안 유지, 비상진료 지원, 건강위험평가 지원, 음식물 섭취제한 및 농축산수산물 생산금지 및 유통 통제, 보호조치 완화 결정 및 지역 복구 지원 등이다. Table 5에는 전라남도 지자체 비상요원에 대한 가상현실 훈련의 주요 대상 이벤트를 나타내었다.

Table 3. Key Success and Failure Factors for Event Unit Topic Determination

Division			Perceive Blue Alarm	Inner Place Escape
Success Factor			Emergency Notification by Mobile Phone and Siren Issue	Escape by Walking, Bicycle, Cultivator, Vehicle, etc.
Failure	Inner factors	Obey	Sleep, Hearing Difficulty	Injury, Movement difficulty
		Non Obey	-	Individual Behavior (Bad Intention Escape)
	Outer Factors	General	Communication Failure (Communication Congestion), Non-possession of Mobile Phone, Power Failure, Locate in non communication area	Breakdown, Road Congestion
		Complex	Communication Failure, Communication Congestion, Network Failure	House Breakdown, House Flooding, Vehicle Part Blocking, Loss of Road Road Flooding

Table 4. Role of Emergency Department in Jeollanam-Do

Division	Role
Safety Office / Society Disaster Dept.	<ul style="list-style-type: none"> - Establishment and accomplishment of comprehensive nuclear power plant safety countermeasure plan - Establishment and accomplishment of local radioactivity preparedness plan - Establishment and accomplishment of nuclear power plant preparedness field site action manual - Protection of Residents and Education of radioactivity preparedness - Management of radioactivity preparedness staff organization - Management of radiation emergency plan zone - Determination and management of radioactivity preparedness rescue place - Supply and maintenance & management of resident protective goods - Operation of special account for nuclear power local resources facility tax - Establishment and fulfillment of nuclear power plant local development business plan - Operation and management of environment radiation safety information homepage - Installation and operation & management of environment radiation monitors - Operation of Hanbit nuclear power plant Honam region wide conference - Operation of Hanbit nuclear power plant protection conference - Operation of nuclear power plant area City and Do province administrative conference - Carry out Gwangju and Jeollanam-Do nuclear power plant safety harmony collaboration - Carry out radiation R&D governmental business invitation - Work related to resident advertising and press countermeasure against nuclear power plant accident

Table 5. VR Target for Jeollanam-Do Emergency Staff's

Determination of main VR target
- Dispatch of province site response team
- Protective action, Rescue, Rescue place activities
- Control of entrance and exit in radioactive control area and control of public peace
- Support of emergency medical treatment
- Support of health risk evaluation
- Control of food ingestion, prohibition of agricultural and stockbreeding production and control of distribution
- Determination and protective action mitigation and support of local area recovery
- Sampling - Blocking of Road
- Support of environment samples transportation
- Installation and operation of barricade, display plate and other equipments

원전 주변에 위치한 각 지자체들은 원전 주변의 환경과 상황을 고려하여 지자체 방재 대책운영을 달리하고 있으며, 원전 인근의 영광군, 무안군, 함평군, 장성군 등 관계 군주민의 의견을 총괄 반영하는 전라남도와는 달리 부산시청 내 원전 소재 관할 지자체인 고리원전 주변 지자체인 기장군청의 경우엔 방재요원, 코디네이터, 현장유도요원, 현장응급의료소 파견요원으로 구분되어 지자체 요원들이 사고 시 지원업무를 수행하게 되며 코디네이터는 차량안내, 교신응수 관련 업무를 수행하여야 한다.

울진 및 월성 원전 주변의 지자체(울진군청 및 경주시)에서도 교통 통제요원, 수송요원, 경보안내요원, 대피유도요원, 구호소운영요원 등으로 구분되어 지자체 요원들이 맡은 바 업무를 수행하게 된다.

3.3.2 가상현실 개발 변수 결정

훈련자의 주변 환경, 훈련자의 행동 대상이 되는 변수들을 개발 변수로 정의하였으며, Fig. 2에 고리 원전을 기준으로 한 Precautionary Action Zone (PAZ, 반경 5 km)와 Urgent Protective Action Planning Zone (UPZ, 반경 30 km)를 나타내었으며, 고리의 경우 지자체와의 협의를 통해 인구 밀집도를 고려하여 21km의 UPZ를 결정하였으나 지속적으로 시민단체, 정치권 등 UPZ 지역 확대 요구에 따른 거리 30 Km를 그림에 반영하였다. Table 6은 비상종류에 따른 고리원전 사고 대응과 관련한 대피유도반 훈련자, 비상수송반 훈련자, 구호소운영반 훈련자에 대한 업무를 예시로 나타내었다 (BEES, Inc., 2017a). 예방적보호조치구역(PAZ) 및 긴급보호조치계획구역(UPZ)의 주민들은 방사성비상 발생 시 해당 비상(백색, 청색 및 적색)에 따라 주민 피폭의 영향 정도에 따라 옥내 대피, 소개 등을 결정하는 구역으로 백색 비상인 경우는 초기대응을 위한 지역방재대책본부가 발족되어 주민보호활동조치를 수행하게 된다. 각 지자체마다 차이는 있으나 고리 원전의 사고에 대비한 부산시 기장군의 경우, 안전도시국장을 본부장으로 하는 초기 대응 본부가 발족되고 본부장 및 부분부장(원전안전과장 겸) 산하에 상황총괄반

(원전방재팀 및 재난관리팀 담당) 및 언론대응반(전략홍보팀 및 전략사업팀) 2개의 실무반이 구성되어 총 13명이 해당 업무를 수행하게 된다. 청색비상 이상인 경우는 부산시장을 본부장으로 하는 지역방사선방재대책본부가 발족되고 원전안전과를 포함한 총 11개 해당 과에서 각 주어진 업무(예: 긴급통신 지원은 열린민원과, 재난상황관리는 원자력안전과 등)를 수행하며 보건소(의료 및 방역서비스 담당), 경찰서(사회질서유지 담당) 및 소방서(수색, 구조 및 구급 담당)와의 연대를 통하여 방재업무를 수행하게 된다.

Fig. 2. PAZ and UPZ of Kori Nuclear Power Plant Area

훈련자의 작업 공간, 집 내부(옥내 대피 경우), 구호소 건물(옥외 대피의 경우)이 이벤트단위의 주변 환경이 되며, 훈련자의 행동은 이동이나 보호조치가 해당되며, 창문 닫기, 장독대 닫기, 손 씻기, 환복하기, 환복 된 옷 보관하기 등의 주요 행동으로 표현된다. 훈련자의 행동 대상은 훈련자가

Table 6. Evacuation Guard Team, Emergency Transport Team and Shelter Operations Team according to Emergency Type

Type of Emergency		Escape Guide Team	Emergency Transportation Team	Rescue Place Operation Team
White	Expect that the effects are limited within nuclear facility building	Report to local government office emergency post at present location		
Blue	Expect that the effects are limited within nuclear facility building site	Transmit the situation to residents/ Stand-by	Identify vehicle gathering place/Stand-by	Operation of rescue post
Red	Expect that the effects are reached to outdoors of nuclear facility site	PAZ: Collect residents to village gathering post/ Guide the escape to rescue post	PAZ: Start to village gathering post/ Escape to rescue post after the residents board the vehicle	
		UPZ: Transmit the situation to residents/ Stand-by	UPZ: Stand-by at vehicle gathering post	
	A certain level release starts to outdoors of nuclear facility site	UPZ: Collect the residents to village gathering post/ Guide the escape to rescue post	UPZ: Start to village gathering post/ Escape to rescue post after residents board the vehicle	

행동 시 선택하는 도구나 대상이며 창문, 세면대, 장독대, 수도꼭지, 환복 대상 옷, 갈아입을 옷 등이 해당한다(Fig. 3). 개발변수에 대해서는 중요 가중치를 부여하여 개발에 대한 효율성을 증가시켜야 하며 가중치를 크게 부여하여야 할 경우는 외부소재 시 사고 인지를 위한 핸드폰 확인, 사이렌 발생, 통화 혼잡에 따른 교신 장애 제거 활동 등이 주요 개발 인자로 고려해야 한다.

Fig. 3. Trainee's Behavioral Tool

3.4 시나리오 구성 방법 및 제자

본 연구는 지자체 요원들이 다양한 이벤트에 대하여 최적의 성공 사례를 도출하기 위한 사건 수목구조 형태(Event Tree Structure)로 표현하였다. 사건수목구조 형태는 실제의 경로와 차이가 있을 수 있는데 예를 들어 청색 비상을 인지하지 못한 경우 실내 대피와 보호조치는 의미가 없으며 적색 비상을 인지한 경우에 구호소 이동이 실패하더라도 차단계의 이벤트를 성공할 수도 있으므로 이벤트의 특성을 현실화 및 최적화하여 내용 보완을 하여야 한다. Fig. 4는 사고 발생단계에서 사고 종료 시까지의 지자체 요원이 수행하여야 할 주요 이벤트를 보여준다. 지자체 요원에 대한 사건수목(Event Tree)의 경우, 사건의 발생인 비상발령을 기초로 하여 청색경보 인지, 옥내 대피, 보호조치, 적색경보 인지, 주민집결지 이동, 구호소 이동, KI 복용 등 일련의 사건을 성공 및 실패의 적절한 조합으로 훈련시나리오를 구성하게 된다. 또한 다양한 사건의 경험을 위하여 이벤트 성공 시나리오, 돌발상황(교통 체증 등)을 포함한 시나리오, 복합재난 시나리오 등 시나리오의 종류를 다양하게 구성하여 훈련을 수행하는 것이 어떻게 일어날지 모를 실제 사고에 대처할 수 있는 우수한 훈련 시나리오라 할 수 있다(BEES, Inc., 2017b). 훈련을 수행한 이후에는 훈련평가를 통하여 훈련의 효율성을 극대화하여야 한다. 지자체 요원은 사건 발생 시 대피유도반, 비상수송반, 구호소운영반들로 구성하게 되며 따라서 각 역무에 대한 운영 Logic을 구성하여 훈련경로를 결정해야 한다. Tables 7 ~ 9는 지자체 요원 즉, 대피유도반, 비상수송반 및 구호소운영반 요원의 담당업무에 대한 훈련경로(임무)의

예시를 보여주며 각 지자체 요원 즉, 훈련자는 목적에 대한 선택의 적절성, 행동의 정확성, 조치 시간의 단축 등을 훈련경로의 결정기준 조건으로 적절히 반영하여야 한다. Tables 7 ~ Table 9에 나타난 Yes/No의 여부는 지자체 요원에 주어진 임무를 바르게 수행하였을 경우 “O”, 또는 달리 수행하였을 경우 “X”로 구분하였으며, 각 점수(mark)는 임무의 중요도 및 주민 안전에 대한 위험성/주민안전에 대한 기여도를 고려한 지자체 요원의 임무에 대한 가중치를 보여준다. 예를 들어 대피유도요원의 가장 중요한 역할은 대피방송 후 주민의 소개를 안내 및 관리하는 일이다. 본 가중치는 훈련시나리오를 개발한 업체 및 원전 주변 지역 지자체 담당자와의 협의를 통한 중요도/위험도/안전성 등을 고려한 업무의 가중치이며 향후 최종적으로 지자체 비상요원의 가상훈련 훈련 성과 등을 고려하여 보완되어질 예정이다. 궁극적으로 주민의 보호는 피폭에 대한 안전보호 조치로 주민의 인체 건강을 보호함에 있고 이는 성공과 실패의 조합으로 구성된 훈련 시나리오에 따른 시간과의 함수(time factor)로 결정되어지는 이동시간 및 이동경로요인과 방사선차폐의 함수(shielding factor)로 결정되는 보호조치 요인과 방사성물질의 체외 방출의 함수(excretion factor)로 결정되는 KI 약품 복용 요인 등 여러 함수로 결정된다(KHNP, 2014).

일반적으로 훈련시나리오는 관련 지침 및 현장조치 행동 매뉴얼 등에 포함된 절차들로 구성되지만, 복합재난이나 돌발사고와 같은 변수에 대한 사례는 포함되어 있지 않음

로 복합재난(도로망 유실, 정전 등) 및 돌발상황(교통 사고에 의한 교통 체증, 폭우 등)에 대한 시나리오도 반영하여 지자체 비상요원에 대한 훈련 시나리오가 구성되도록 하였다. Tables 7 ~ 9에 나타난 훈련 업무는 각 지자체 비상요원의 가상현실 훈련에 대한 교육 평가를 위한 일반적 업무에 대한 예이며 세부적으로 상황정보 전달 및 전파, 주민소개, 대피소 운영, 구호물자 보관 및 공급, 교통처리 계획, 갑상선 방호용품 관리 및 배부 등에 관한 업무는 지속적으로 지자체 비상요원의 훈련 상태 및 훈련범위를 확대하여 후속 연구를 실시할 예정이다(ORIONEnC, 2018).

Fig. 4. Local Government Agent Performance Event

Table 7. Evacuation Guard Team's Mission

choice	Role	Yes/No	Division	mark
1	Send location identification letter (home)	O	White	4
	Inform to family	X		0
2	Gather in office	O	Blue	5
	Move to emergency post	X		0
3	Move to emergency post	O		5
	Move to home	X		0
4	Select Protective Goods (10 Ea)	O		7
	Select Protective Goods wrongly	X		0
5	Select broadcasting equipment	O		5
	Select other equipment	X		0
6	Report location identification (village hall)	O		5
	Transmit the situation	X		0
7	Transmit vehicle transportation situation	O		5
	Non transmission	X		0
8	Stand-by at site after situation report	O		5
	Return to local government office after situation report	X		0
9	Announcement for escape to indoors	O	Red	8
	Announcement for escape to rescue post	X		0
10	Transmit the situation by walk (3 families)	O		8
	Return to village hall	X		0

Table 7. (Continued)

choice	Role	Yes/No	Division	mark
11	Guide resident escape after the broadcasting	O	Announce of disaster	12
	Return to home after broadcasting	X		0
12	Guide the escape (3 families)	O		10
	Non visiting	X		0
13	Obey KI ingestion method	O		11
	Don't obey KI ingestion method	X		0
14	Identify personnel	O		10
	Escape immediately after boarding	X		0
Total				100

Table 8. Emergency Transport Team's Mission

choice	Role	Yes/No	Division	mark
1	Send location identification letter	O	White	6
	Inform to family	X		0
2	Gather at office	O	Blue	8
	Move to emergency post	X		0
3	Move to emergency preparation post	O		8
	Move to home	X		0
4	Select Protective Goods (9 Ea)	O		10
	Select Protective Goods wrongly	X		0
5	Stand-by at site after situation report	O		8
	Return to local government office after situation report	X		0
6	Stand-by at site	O	Red	11
	Move to village gathering post	X		0
7	Move to village gathering post	O	Announce of disaster	17
	Return to home after the vehicle starts	X		0
8	Boarding remaining personnel	O		15
	Non boarding remaining personnel	X		0
9	Obey KI ingestion method	O		17
	Don't obey KI ingestion method	X		0
Total				100

Table 9. Shelter Operations Team's Mission

choice	Role	Yes/No	Division	mark
1	Send location identification letter	O	White	5
	Inform to family	X		0
2	Gather at office	O	Blue	7
	Move to emergency post	X		0
3	Move to emergency preparation post	O		7
	Move to home	X		0
4	Select Protective Goods (14 Ea)	O		9
	Select Protective Goods wrongly	X		0
5	Report location identification	O		7
	Build rescue post	X		0
6	Stand-by at site after situation report	O		7
	Return to local government office after situation report	X		0

Table 9. (Continued)

choice	Role	Yes/No	Division	mark
7	Stand-by rescue post operation	O	Red	10
	Return to home after rescue post build-up	X		0
8	Guide to non contamination resident identification post	O		8
	Guide to non contamination resident decontamination post	X		0
9	Guide to resident rescue goods post	O		8
	Guide to resident rescue post	X		0
10	Operation of rescue post	O	Announce of disaster	15
	Escape to rescue post	X	0	0
11	Obey KI ingestion method	O	17	17
	Don't obey KI ingestion method	X	0	0
Total				100

4. 토 의

지자체 비상요원에 대한 방재훈련시스템의 경우, 주민의 순응 및 적극적인 참여를 기반으로 진행하게 되나 실제로 사고 시 주민들이 지자체 비상요원의 지시에 적극적 순응을 할지는 미지수이다. 따라서 지자체 비상요원들은 3D 훈련시스템을 적극적으로 활용하여 주민들로 하여금 사고 시 발생할 수 있는 상황들에 대한 공감을 얻도록 노력하여야 하며 실제 사고 시 효율적인 행동 및 보호조치 노력이 일어날 수 있도록 훈련의 형태를 지자체 요원이 임의로 결정하여 대처하는 가상훈련을 수행하고 훈련결과를 피드백(Feedback)하여 훈련의 성과를 극대화하도록 하여야 한다. 사건의 임의 조작을 통한 훈련법은 훈련효율을 더욱 증가시킬 수 있다고 보고되고 있어(Lee et al., 2016) 지자체 비상요원들에 대한 훈련의 효율성을 증가시키는데 본 방법이 기여할 것으로 판단된다. 일반적으로 지자체 비상요원들이 참여하는 국가 방사능방재 훈련의 경우, 정해진 프로토콜에 의해 훈련이 진행되어 돌발 상황 또는 복합 재난 상황들에 대한 훈련의 정도가 미미하고 모든 조건을 만족시키는 훈련 목표 달성에는 한계가 있으므로 지자체 비상요원들에 대한 훈련도 다양한 가상훈련 시나리오를 통해 경험토록 훈련시스템을 구축함이 필요하다. 또한 일본 후쿠시마 원전 사고 경험을 통해 훈련 시 원전 주변 지역의 인프라 및 방재 보호 시설의 파괴 등이 발생된 것을 목격한 바 있어 기존 훈련에서 배제되었던 도로 등 인프라 및 방재 환경의 양호성이 정당화(Justification)될 수 없으므로 가상훈련에 인프라의 파손 등 방재 환경의 열악성을 고려한 시나리오를 반영함이 필수적이다(YeonHap News, 2017). 또한 지진 등 심각한 재난을 일으킬 수 있는 복합 재난의 발생도 충분히 고려하여 지자체 요원들의 훈련 시나리오에 반영되어야 한다.

5. 결 론

원전 주변지역의 경우 긴급보호조치구역(UPZ)이 20~30 Km로 확대되어 지자체 비상요원 훈련자도 증가하였다. 그러나 지자체 비상요원에 대한 효율적인 훈련 방법을 도입하기 위해서는 가상현실에 의한 훈련법이 적절하며 훈련의 결과 및 피드백 등을 충분히 반영한 지식기반 가상현실 훈련시나리오(Knowledge Based on VR Training Scenario)로 발전시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 지자체 비상요원들에 대한 훈련시나리오를 효율적으로 반영, 적용할 수 있도록 다양한 사건에 대한 사건수목기반 훈련 시나리오를 제안하였다. 지자체 비상요원을 대피유도반, 비상수송반 및 구호소 운영반 요원으로 구분하여 사고 발생이후 사고 종결 시까지 각각의 이벤트를 구분하여 각 이벤트의 성공과 실패를 조합화하여 거의 모든 상황이 모사되도록 훈련시나리오를 구성하였다. Fig 5는 지자체 요원 가상훈련 시스템의 전체 구성을 보여준다.

Fig. 5. Configuring Virtual Reality Training Scenario for Local Government Employees

본 연구에는 위기관리 표준 매뉴얼, 현장조치 행매뉴얼 등에 요구된 원전 사고 대처의 기본적인 사항 외 통신장애, 가옥파괴, 도로파손 및 유실, 담당자 부상 및 사망, 자진, 쓰나미 등과 같은 복합 재난을 고려한 다양한 이벤트를 고려하여 지자체 비상요원에 대한 가상현실 훈련이 뒷받침 될 수 있도록 시나리오를 구성하여 모든 유형의 사고에 대처할 수 있는 훈련이 될 수 있는 기초를 마련하였다(KINS, 2013).

이러한 훈련시나리오를 통해 지자체 비상요원 훈련자는 행동 목적에 대한 선택의 적절성, 행동의 정확성, 행동 조치 시간의 단축 등을 훈련경로의 주요 결정요인으로 정하여 훈련을 숙달하도록 해야 한다. 가상현실의 훈련을 극대화하기 위해서는 가상현실 구현 기기의 제공 및 운영 상 애로적정 기기 수 제공 불가 및 장기간 사용 시 현기증 발생 등) 등에 대한 해결책 마련 및 교육 콘텐츠의 개발 확대(예를 들어 복합재난 등 가상현실 환경 구현), 최적의 훈련환경(훈련장소 및 적정 훈련자 수 결정 등) 마련 등의 조치가 보완되어야 한다.

지자체의 훈련대상 인원은 울주군청의 예를 들면 총 70여 명 수준으로 상당한 인원이 지자체에서 사고 시 지원요원으로 동원하게 되는데 지원의 효율성을 증가시키기 위한 지자체 요원들에 대한 가상훈련 교육훈련 시는 이벤트별(경보발령, 돌발사고 발생, 구호소 대피 등) 구성 상황을 선택하여 교육을 진행함이 바람직하다. 특히 비상 조직표 상 해당 인력을 선택하여 행동 지시로 훈련을 진행하도록 하며 돌발상황의 경우 해당 매뉴얼(돌발상황 조치 매뉴얼 필요)에 따른 행동 절차를 진행하도록 하고 적절한 평가를 통하여 적합한 행동 시 가점 및 부적절한 조치 결과 시 페널티를 부여하여 교육의 효과를 증가시켜야 한다. 페널티에 대하여는 피드백을 통해 성공의 결과가 항상 이루어지도록 하고 교육의 성공적 결과는 실제 사고 시 지자체 비상요원뿐만 아니라 주민들을 방사선으로부터 보호할 수 있는 기본 밀거름임을 훈련자가 인지할 수 있도록 한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 20161520101150).

References

BEES, Inc. (2017a). *Resident's participation system via radioactivity preparedness training using VR based on radioactivity release accident situation at nuclear power plant*. Workshop Material.

BEES, Inc. (2017b). *Result of visit to local government office*

for resident's participation system via radioactivity preparedness training using VR based on radioactivity release accident situation at nuclear power plant. Feb-May, 2017, Uljin Office/Kijang Office/Ulju Office/Gyeongju Office.

Cha, M.H., Lee, D.W, Park, Y.W, and Lee, B.I. (2017). A study for implementing virtual reality based radiological excise system. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol 17. No. 4, pp. 327-334.

Gomes, J.O., Borges, M., Huber, G.J., and Carvalho, P.V.R. (2014). Analysis of the resilience of team performance during a nuclear emergency response exercise. *Applied Ergonomics*, Vol. 45, No. 3, pp. 780-788.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). *The Fukushima Daiichi accident*. Technical Volume 3.5, Emergency preparedness and response.

Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. (KHNP). (2014). *User's guide for radiation dose evaluation program during radiation emergency*. KHNP, K-REDAP Vol.220.

Korea Institute of Nuclear Safety (KINS). (2013). *A study on the development of the radiological emergency plan for schools*. KINS/GR-508. Korea Institute of Nuclear Safety.

Lee, B.I., Park, S.J., Lee, D.W., Song S.L., and Park Y.W. (2016). Development of public training system for emergency excise using virtual reality technology based on radioactive release accident. *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, Gyeongju, Korea.

Nuclear Safety and Security Commission (NSSC). (2014). *Radiation emergency measures of nuclear licensees* (Article 21-3). Notification No. 2014-082.

OrionEnC. (2018). *VR story board for response organizations against nuclear power plant accident*.

Park, C.G., and Ha, J.J. (2003). *Probabilistic safety analysis*. Seoul: BrainKorea Publishing.

YeonHap News. (2017). *22 hours is needed to escape during Kori Nuclear Power Plant Accident at the place 22 km radius away from Kori Nuclear Power Plant* (March 8, 2017).

Received	November 16, 2018
Revised	November 19, 2018
Accepted	January 22, 2019