

<원저>

P-mSHEL 요인분석 모델을 이용한 방사선종양학과 방사선 안전사고 위험 요인 평가

김영록·김대건·정재홍

순천향대학교 부천병원 방사선종양학과

Assessment of Radiation Safety Incident Risk Factors in Radiation Oncology Department Using the P-mSHEL Factor Analysis Model

Young-Lock Kim·Dae-Gun Kim·Jae-Hong Jung

Department of Radiation Oncology, Soonchunhyang University Bucheon Hospital

Abstract Radiation oncology departments are at high risk for potential radiation safety incidents. This study aimed to identify risk factors for these incidents using the P-mSHEL (Patient, Management, Software, Hardware, Environment, and Liveware) model and to evaluate potential accident types through Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). FMEA identified seven accident types with high Risk Priority Number (RPN). A total of 56 detailed risk factors were classified using the P-mSHEL model, and measures to prevent radiation safety incidents were implemented. The effect of these preventive measures on workers' safety perception was confirmed through two indicators (FMEA and safety perception). After implementing the preventive measures, the FMEA analysis showed that the highest reduction in RPN was for A-6 (radiation exposure while other patients/guardians are present) with a reduction rate of 33.3%, followed by B-3 (radiation exposure while staff are present) with a reduction rate of 33.3%. Overall safety perception significantly improved after the preventive measures (4.17 ± 0.35) compared to before (2.76 ± 0.33) ($p<0.05$), with notable increases in both employee safety culture (3.93 ± 0.51) and patient safety culture (3.73 ± 0.62) ($p<0.05$). This study identified risk factors in radiation oncology departments. Continuous management, maintenance, and fostering a strong safety culture are crucial for preventing incidents. Regular problem identification and collaboration with relevant departments are essential for maintaining safety standards.

Key Words: FMEA, P-mSHEL, Safety awareness, Radiation safety, Risk factor

중심 단어: FMEA, P-mSHEL, 안전인식, 방사선 안전, 위험 요인

1. 서론

방사선 치료의 목적은 최적의 방사선을 종양에 조사하면서 정상조직의 장해를 최소화 하여, 종양의 치유와 삶의 질을 향상하는 것이다[1]. 방사선은 물리, 화학, 생물학적 작용을 일으켜 인체에 급성효과와 유전 효과를 일으킬 수 있어 적절한 방호가 필요하다. 방사선 피폭의 급성효과에는 불임과 백내장, 조혈 장애 등이 있고, 장기적인 영향으로 암이나 유전적 영향이 발생할

수 있다[2,3]. 방사선의 부정적인 측면을 줄이기 위해서는 올바른 교육과 이해가 필요하며, 불필요한 방사선 노출을 최소화해야 한다[4]. 이를 위해 방사선 안전관리 행위 수준을 높이는 전략을 설계하고, 방사선을 적절하게 사용하고 관리하기 위한 지속적인 연구가 필요하다[5].

방사선을 이용하는 기관과 종사자의 수, 그리고 유통 규모는 계속해서 증가하고 있다. 또한 산업의 발전에 따라 진단 및 치료 장비의 첨단화와 현대화가 진행되고 있다[1,6]. 의료방사선

기술의 발전으로 진단과 치료 목적으로 방사선 사용량이 증가하고 있으며, 이에 따라 의료방사선 노출도 증가하고 있다. 방사선 피폭 관리를 위한 방사선 측정 및 감시의 중요성이 커지고 있으며, 이에 따라 다양한 방사선 측정 장비와 모니터링 시스템이 필요하다[7-9].

일반인의 방사선 노출(2018년), 방사선 작업종사자의 방사선 노출(2019년) 등 의료기관에서의 방사선 노출 사례가 방사선 안전관리 포털에서 보고된 바 있다[10]. 방사선 관리의 절차나 규정이 부족하거나 준수되지 않을 경우, 발생한 방사선 안전사고는 환자와 직원에게 직접적인 위협이 될 수 있다. 이를 위해 적절한 규정과 절차를 원자력안전법, 원자력안전법 시행령, 원자력안전법 시행규칙, 기술기준, 고시 등을 근거로 확립할 필요가 있다. 또한 방사선종양학과는 방사선 치료용 하전입자 가속장치를 사용하므로 방사선 관리구역을 설정해야 한다. 안전사고 예방을 위해 이러한 적절한 규정과 절차를 준수하는 것이 필요하다[11,12].

안전사고를 예방하기 위해서는 더 체계적이고 구체적인 사고유형 분석이 필수적이다. 따라서, 발생할 수 있는 사고유형을 파악하고 FMEA (Failure Mode and Effective Analysis) 분석을 통해 위험 요소와 위험도 우선순위를 확인함으로써, 시급한 조치가 필요한 유형을 식별할 수 있다[12,13]. 또한, 위험 요인을 세밀하게 분석하기 위하여 P-mSHEL (Patient, management, Software, Hardware, Environment, Liveware) 모델을 적용하여 환자 측과 관리 측 요인을 함께 평가할 수 있다[14,15]. FMEA 분석과 P-mSHEL 모델을 적용해 종합적인 안전관리 체계를 설정할 수 있다.

국내 연구에서 mSHEL 모델과 SHEL 모델은 주로 건설 현장에서 인적오류의 배후 요인 중 조직 및 관리체계를 분석하는데 활용했으나, 의료기관에서 적용한 사례는 없었다[1]. 본 연구는 인적오류를 줄이기 위해 조직적 상황을 파악하고, 이를 통해 인적오류를 체계적으로 관리하는 구체적인 방안을 모색하기 위해 진행되었다. 기존에는 문제점의 주요 요인을 범주로 그룹화하여 세부 요인을 구별하고 원인을 파악하는 도구로 특성요인도(Fishbone Diagram)를 사용한 바 있다. 그러나 Komatsubara[15] 등이 제시한 P-mSHEL 모델은 의료기관에서 환자와 관리 측면의 위험 요인을 함께 파악할 수 있는 도구로써, 본 연구는 환자 측면의 위험 요인을 분류하고 현장의 관리체계를 확인하여 안전사고를 예방하기 위해 P-mSHEL 모델을 적용하여 환자와 관리 측면에서 방사선 안전사고의 위험 요인을 파악하고자 하였다.

의료기관에서 방사선 안전사고는 자주 발생하지 않지만, 방사선 안전사고로 인한 조혈 장애, 암, 유전적 영향 등 심각한 건강 피해를 초래할 수 있으므로 사고 예방을 통해 인명 및 건

강 피해를 사전에 차단할 필요가 있다[2,3]. 사고 발생 시 대처를 위한 비용과 시간이 필요하며, 기관에 대한 불신으로 인한 경제적, 사회적 피해가 발생할 수 있으므로 잠재적으로 발생 가능성이 있는 사고유형을 예측하고자 하였다[10]. 본 연구는 현장의 직원들과 협력하여 발생 가능성이 있는 사고유형을 예측하고 위험 요인을 분석하였다. 이 과정은 방사선 안전에 대한 조직과 개인의 의식을 높이고, 방사선 안전문화를 증진해, 방사선 안전사고 예방에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구의 목적은 방사선종양학과에서 발생할 수 있는 잠재적 방사선 사고유형을 식별하고, FMEA 분석을 통해 예방이 필요한 사고유형을 도출하고자 하였다. P-mSHEL 모델을 활용하여 방사선 사고유형의 위험 요인을 세부적으로 분석함으로써, 방사선 안전사고의 가능성을 감소시키고 예방하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상과 자료수집

본 연구를 위해 예방조치 이전의 안전사고 유형을 파악하기 위한 개방형 설문지와 예방조치 이전과 이후의 안전인식을 측정하기 위한 설문지를 배포하였다. 연구 대상은 일개 대학병원 방사선종양학과 직원 총 9명이었다. 자료수집 기간은 2023년 4월 17일부터 4월 21일까지 개방형 설문을 진행하였고, 2023년 8월 7일부터 8월 11일까지 안전인식을 측정하였다.

2. 사고유형 파악

직원을 대상으로 개방형 설문하여 발생할 수 있는 방사선 안전사고 유형을 예측했다. 이를 통해 현장에서 발생할 수 있는 총 53개의 잠재적 방사선 안전사고 유형을 도출하였다. 이 중 방사선 안전사고와 관련되는 항목을 선택하고, 중복되거나 유사한 사고유형을 병합하여 총 16개의 방사선 안전사고 유형을 도출하였다.

3. 방사선 안전 사고유형 FMEA 분석

우선순위로 예방조치가 필요한 사고유형을 선정하기 위해 FMEA 분석을 시행하였다. 총 16가지의 방사선 안전사고 유형의 심각도(severity), 발생도(occurrence), 검출도(detection)를 측정하여 위험 우선순위 평가지표(risk priority number, RPN)을 도출하였고 다음 식(1)과 같다. 이를 통해 예방조치가 필요한 사고유형 중 총 7가지를 선정하였다[12,13].

$$RPN = \text{severity} \times \text{occurrence} \times \text{detection} \quad (\text{Eq. 1})$$

4. P-mSHEL 요인분석과 예방조치

P-mSHEL 모델을 활용하여 방사선 안전사고 유형의 위험 요인을 분석하였다. 예방조치가 필요한 총 7가지의 방사선 안전사고 유형의 위험 요인을 논의하고, P-mSHEL 모델에 의한 총 6가지 분류에 따라 위험 요인을 세부적으로 분석하여 예방 조치를 시행하였다[14,15]. 이 과정에서 외부 기관의 규정 및 현장 감사, 해당 기관의 방사선 안전관리 규정 확인, 방사선 안전관리자의 자문 등을 참고하였다. 출입구 스위치 위치와 사용 방법 안내, 외부와의 소통 장치 강화, 방사선 치료실 내부의 사각지대 제거, CCTV와 모니터 추가, 출입자 관리를 위한 업무 지침 강화, 직원 교육, 환자 대상 안내자료, 실무 담당자 지정 등의 내용이 포함되었다.

5. 안전인식

연구의 효과를 확인하기 위해 직원들의 안전인식을 조사하고, 김신혜 등[16]은 대학생 안전인식에 관한 연구 도구를 참고하여 설문지를 작성하였다. 선행 연구에서는 대학생을 대상으로 진행되었으나, 본 연구에서는 직원을 대상으로 수정된 문항을 사용하여 안전인식을 측정하였다. 안전문화를 측정하는 항

목은 직원과 환자를 따로 고려하여 수정하였다. 본 연구에서 사용한 설문지는 총 5가지 항목(안전기본, 안전교육, 직원안전문화, 환자안전문화, 안전행태)으로 구성되었고, 총 25가지 문항으로 이루어졌다(Table 1). 예방조치 전후의 안전인식을 반복 측정하였다[17]. 수집된 자료는 Rex (ver 3.6.3, Rexsoft, Kor) 통계분석 프로그램을 사용하여 분석되었으며, 일반적인 특성은 빈도분석을 통해 조사되었다. 예방조치 이전과 이후의 안전인식 평균과 표준편차를 산출하고, 비모수 통계분석 방법인 윌콕슨 순위합 검정(Wilcoxon Rank-Sum Test)을 사용하여 문항 간의 차이를 검증하였다. 결과의 유의성은 유의수준 0.05에서 평가하였다.

III. 결 과

1. 대상자의 일반적인 특성

본 연구의 대상자는 총 9명으로, 성별은 남자가 6명(66.7%), 여자가 3명(33.3%)이었다. 연령분포는 20대가 2명(22.2%), 30대가 5명(55.6%), 40대 이상이 2명(22.2%)이었다. 현재 부

Table 1. Survey questions on radiation safety awareness for employees

Category	Question
Safety basics	I tend to have a lot of knowledge about safety
	I have a high awareness of safety
	I have a high level of interest in safety
	I believe it is important to follow safety procedures
	I believe that safety accidents can be prevented
Safety education	I am willing to actively participate in safety training programs
	I believe that safety education activities help increase safety awareness
	I know that safety training is important
	I know how to resolve and respond when a safety accident occurs
Employee safety culture	I plan to practice safety accident prevention activities through safety education
	Managers in hospitals tend to be concerned about the safety of their employees
	The hospital provides their employees with a lot of information about safety issues
	The hospital helps to improve employee safety during in-house operations
	Employees can easily access information about the hospital
Patient safety culture	Employees can provide suggestions for safety improvements
	Hospital administrators tend to be concerned about patient safety
	The hospital provides patients with a lot of information about safety issues
	The hospital helps to improve patient safety
	Patients can easily access information about the hospital
Safety behavior	Patients can provide suggestions for safety improvements
	I strictly adhere to safety procedures despite time pressure
	I actively participate in the hospital safety program
	I will follow the safety instructions in case of an accident if I receive safety training
	I assist in ensuring safety during patients' risky behaviors
I tend to make extra efforts personally for safety	

서에서의 근무 경력은 5년 미만이 4명(44.4%), 5~10년이 1명(11.1%), 10~15년이 3명(33.3%), 15년 이상이 1명(11.1%)이었다. 직종은 방사선사가 7명(77.8%), 기타 2명(22.2%)이었다.

2. FMEA 비교

본 연구에서는 예방조치가 필요한 총 7가지의 방사선 안전사고 유형에 대해 FMEA 분석을 수행하였고 예방조치 이전과 이후의 RPN 값을 비교하여 Table 2에 나타냈다. 예방조치 이후 대부분의 사고유형에서 RPN 값이 감소했으며, 특히 많이 감소한 사고유형은 1순위인 “치료실 내 다른 환자/보호자가 있는 상태에서 방사선 조사”로 RPN 값이 240에서 160으로 33.3% 감

소했다. 2순위인 “모의치료실 내 직원이 있는 상태에서 방사선 조사” 역시 RPN 값이 210에서 140으로 33.3% 감소했다.

3. P-mSHEL 요인분석 결과

사고유형의 위험 요인을 확인하기 위해 P-mSHEL 모델을 사용하였다. 이 모델의 분류를 통해 총 56가지의 위험 요인을 도출했는데, 이 중에는 환자 측면 8가지, 관리 측면 9가지, 순서나 매뉴얼 측면 9가지, 도구나 설비 측면 7가지, 환경 측면 8가지, 그리고 근무자 측면 15가지가 있었다. 이러한 위험 요인을 줄이기 위해 각각의 예방조치를 시행했으며, 해당 내용은 Table 3과 같다.

Table 2. Accident types requiring preventive action were analyzed using FMEA

Area	Recognition number	Safety incident type	RPN		Rate (%)
			Before	After	
Radiation therapy room	A-3	Radiation treatment with incorrect patient information	168	126	-25.0
	A-6	Exposure radiation of other Patient/Guardian in the radiation therapy Room	240	160	-33.3
	A-7	Exposure radiation of facility staff n in the radiation therapy Room	210	180	-14.3
CT simulation room	B-3	Exposure radiation of employee n in the CT simulation room	210	140	-33.3
	B-4	Exposure radiation of employee During the CT simulation equipment check	252	180	-28.6
Treatment/ waiting room	C-1	Patient identification error	175	180	+2.9
	C-2	Visitor entering radiation management area	135	120	-11.1

Table 3. Improving risk factors and prevention measures utilizing P-mSHEL factor analysis

Item	Category	Risk factor	Improvement
Patient	Patient condition	1. Old age, poor condition 2. Fall caution 3. Restrictions on accompanying guardians	1. Entry possible with a staff member 2. Guardians and medical staff accompany radiation oncology staff
	Patient Information	1. No emergency switch information 2. Difficult to find emergency switch 3. No emergency call bell indication	1. Added entrance switch and emergency call bell information to patient information brochure
	Patient identification	1. Requires confirmation of accurate patient information 2. Reluctance to repeatedly confirm	1. Check your medical card when visiting the hospital 2. Attach medical treatment card confirmation box
management	Safety incidents management	1. The need to regularly check blind spots 2. Insufficient management of visitors 3. Lack of dosimeters for visitors 4. The dosimeter storage box is weak	1. Dosimeter management record management 2. Reinforcement of record of temporary visitors 3. Strengthening management of temporary visitor records 4. Purchase additional dosimeters
	Employee training	1. Radiation safety practitioners required 2. Strengthening employee patient safety training 3. Insufficient training and management system for regular visitors 4. Need to confirm radiation safety training 5. Need to check radiation safety procedures for new employees	1. Appointment of radiation safety personnel for each department 2. Production of patient safety management guidelines 3. Monthly patient safety education 4. Strengthening regular visitor management - Strengthening radiation safety training for cleaning staff - Radiation control area cleaning scope setting 5. Radiation-related work procedures when hiring new employees

Table 3. Improving risk factors and prevention measures utilizing P-mSHEL factor analysis (Cont.)

Item	Category	Risk factor	Improvement
Software	Possibility of safety incident	<ol style="list-style-type: none"> 1. The patient's body is visible 2. Patients want space to undress 3. Increased number of patients treated 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Information on changing clothes and waiting outside 2. Prepare a gown to cover the patient's body
	Safe patient guidance	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lack of patient accompanying guidance manual 2. No educational materials for visitors 3. No guidelines for reducing length of stay 4. An accompanying staff member is required upon entry 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remaining occupancy verification is specified in the visitor education guidelines 2. Reconfirmation of medical card and reservation certificate
	Radiation Safety Manual	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reconfirmation of radiation safety management regulations 2. The need for qualitative assessment of radiation safety 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creation of training guidelines for visitors 2. Production of guidance materials for visitors 3. Regular quality improvement activity plan
Hardware	1st room monitoring system	<ol style="list-style-type: none"> 1. Old CCTV 2. CCTV angle restriction and quantity insufficient 	<ol style="list-style-type: none"> 1. New CCTV added: 2 units Replacement of old CCTV: 1 unit
	2nd room monitoring system	<ol style="list-style-type: none"> 1. Internal machine room 2. Maze-type shielding wall 	<ol style="list-style-type: none"> 1. New CCTV added: 1 unit
	Emergency system	<ol style="list-style-type: none"> 1. No emergency call bell at the entrance 2. Blind spots caused by equipment and curtains 3. Absence of door interlock system in CT simulation room 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Installation of patient emergency call bell 2. External receiver installation
Environment	Blind Spot	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low light level 2. Temporary space for undressing 3. Partition inside the treatment room 4. Blind spots caused by partitions 5. Privacy curtain at the entrance 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminate blind spots - Remove all partitions in the treatment room - Remove the top of a tall cabinet - Move the entrance curtain position
	Emergency support environment	<ol style="list-style-type: none"> 1. machine sounds 2. Emergency switch is difficult to find 3. Emergency switch location is far away 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entrance switch sign attached 2. Emergency switch location information is attached. 3. The switch user manual is attached 4. Emergency bell sign attached
Liveware	Senior Staff	<ol style="list-style-type: none"> 1. Staff must accompany and guide visitors 2. Need to check the remaining number of personnel inside 3. Continuous monitoring is required 4. CCTV monitor is obscured 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Staff must accompany visitors - Check remaining people - Continuous monitoring 2. Monitoring system supplementation - Dual Monitor Installation - Remove monitoring obstacles (Desk cutting, bookshelf removal) - Change monitor location - Fixing the monitor extension stand
	Junior staff	<ol style="list-style-type: none"> 1. Support needed in the absence of monitoring 2. Lots of side work 3. Work fatigue 4. Requires redistribution of roles between workers 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Work Type Rotation - Change in rotation method - Attaching worker name tags
	Support staff	<ol style="list-style-type: none"> 1. Support worker monitoring support 2. Need to build a support system 3. Communication and handover required 4. Need to confirm division of work 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Work schedule sharing system 2. Treatment room task assignment - Adjust patient placement by equipment - Job distribution or rotation
	CT-sim staff	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equipment inspection without checking remaining personnel 2. Unconfirmed number of remaining employees when worker is absent 3. Unconfirmed radiation exposure prior to entry 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Check the number of personnel remaining 2. Staff training on entry precautions

Table 4. Comparison of average safety awareness before and after preventive improvements

Item	Prevention improvement		z	p
	Before	After		
Safety basics	3.13 ± 0.67	4.42 ± 0.37	-3.266	< 0.05
Safety education	3.38 ± 0.60	4.36 ± 0.33	-3.016	< 0.05
Employee safety culture	2.24 ± 0.57	3.93 ± 0.51	-3.552	< 0.05
Patient safety culture	2.20 ± 0.47	3.73 ± 0.62	-3.277	< 0.05
Safety behavior	2.87 ± 0.74	4.40 ± 0.41	-3.424	< 0.05

4. 안전인식 결과

예방조치 이전과 이후에 직원들의 안전인식을 측정했고, 그 결과는 Table 4에서 보여주고 있다. 예방조치 이전의 전체 안전인식 평균은 2.76±0.33이었으며, 이후에는 4.17±0.35로 증가하였다(p<0.05). 직원안전문화는 2.24±0.57에서 3.93±0.51로 증가했으며(p<0.05), 환자안전문화는 2.20±0.47에서 3.73±0.62로 크게 증가하였다(p<0.05).

IV. 고찰

본 연구에서는 방사선 관리구역 내에서 발생할 수 있는 다양한 안전사고 유형을 예측하였다. FMEA 분석을 통해 우선순위로 예방조치가 필요한 사고유형을 도출하고, 현장에서 발생할 수 있는 사고유형의 위험 요인을 파악하기 위해 P-mSHEL 모델을 적용하였다. P-mSHEL 모델에 따라 총 56개의 위험 요인을 도출하여 환자 측면 8가지, 관리 측면 9, 절차나 매뉴얼 측면 9가지, 도구나 설비 측면 7가지, 환경 측면 8가지, 그리고 근무자 측면 15가지의 위험요인이 있었고, 이를 줄이기 위해 예방조치를 시행하였다.

위험 요인을 줄이기 위해서는 비상 상황에 대비하여 충분한 환자 안내가 필요하다. 방사선종양학과에 내원하는 환자들은 고령이거나 건강 상태가 좋지 않은 경우가 많아 주의가 요구된다. 그러나 방사선 관리구역 내에서는 보호자의 동행이 제한될 수밖에 없다. 이러한 상황에서 환자들이 비상 상황에 대비할 수 있도록 출입구 스위치 사용 방법과 외부와의 의사소통 방법에 대한 명확한 안내가 필요하다. 치료실 내부에는 환자들이 쉽게 접근할 수 있는 위치에 비상스위치가 잘 보이도록 배치되어야 한다. 비상스위치의 위치와 사용 방법에 대한 명확한 안내 표지판이 설치되어 있어야 하며, 정기적으로 작동 상태를 점검하여 신뢰할 수 있는 상태로 유지해야 한다. 만일 차폐문이 닫힌 상태에서 방사선 관리구역 내부에 잔류인원이 있다면, 이들이 직접 출입문 비상스위치를 사용하여 탈출할 수 있도록 안내해야 한다. 또한 방사선 사용시설 외부에는 방사선이 투과하지 않도

록 차폐되어 있으며, 내부 소음이 크기 때문에 치료실 내부와 외부의 소통이 어렵다. 따라서 인터폰 시스템이나 비상호출 버튼 등을 설치하고, 장치의 사용 방법에 대한 충분한 교육과 안내를 통해, 잔류인원이 외부로 도움을 요청할 수 있다.

이유식 등[11]은 작업 분석을 통해 방호 절차를 구성하면 방사선 위험 요인을 줄일 수 있다고 언급하였다. 방사선 안전교육을 통해 지식을 습득하고, 이를 실무에 적용하는 데에 방사선 작업종사자들의 노력이 필요하다[18]. 방사선 안전사고를 예방하기 위해서는 업무 매뉴얼이 적합해야 하며, 실무자의 관리가 필요하다. 이 방사선 발생장치 사용시설의 안전관리, 직원과 출입자 교육에 대한 체계와 절차 등이 현장 특성과 방사선종양학과 의 실정에 맞게 운영되는지 확인해야 한다. 방사선종양학과 실무를 기반으로 방사선 관리구역 내의 환자 안내, 출입자에 대한 교육 지침과 안내자료, 방사선치료 중 지속적인 모니터링 등 안전사고 예방을 위한 순서나 매뉴얼이 적합해야 한다.

방사선치료 시 치료실 내부에 잔류인원을 확인하도록 원자력안전위원회의 규정에 명시되어 있다[17]. 이를 위해 근무자는 출입자 관리에 유의해야 하며 구조적으로 내부 모니터링이 불가능하거나 시야를 방해하는 요인을 확인하여 위험 요인을 감소시킬 수 있는 환경을 조성해야 한다. 사각지대를 제거하거나 시야를 개선하기 위해 기둥, 벽, 칸막이, 수납장, 커튼 등을 조치해야 한다. 출입자 발생 시 직원과 동행하고, 방사선 발생장치 사용시설 내부에 잔류인원이 있는지 확인하며 사용 중에는 지속적인 모니터링이 필요하다.

방사선 안전사고를 방지하기 위해 충분한 시설과 설비가 필요하다. 국제방사선방호위원회(ICRP) 보고서(86)에 따르면, 근무자는 환자와 기계의 비정상적인 작동을 감시해야 하며, 이를 발견하면 즉시 방사선 사고 예방 활동을 시행해야 한다[19]. 시설 개선을 위해서는 비용이 발생할 수 있으며 예방조치가 필요한 사고유형의 위험 요인들을 근거로 우선순위의 예방조치를 진행할 수 있다. CCTV 추가나 교체, 비상호출 시스템 설치를 위한 물품 구매 등을 통해 발생할 수 있는 사고를 미리 방지할 수 있다. CCTV 추가나 교체는 사용시설 내부의 시야 사각지대를 보완하여 내부의 잔류인원 확인에 도움이 되며, 잔류인원을

근무자가 인지하지 못한 경우 출입문에 비상스위치 안내를 통해 출입문을 원활하게 사용할 수 있다. 또한 비상호출이나 인터콤 시스템을 적용하여 도움을 요청할 수 있다.

본 연구에서 대부분의 사고유형에 대한 RPN 값은 예방조치 시행 전과 비교하여 감소하였다. “치료실 내 다른 환자/보호자가 있는 상태에서 방사선 조사” 사고유형의 경우 240에서 160으로 감소하였고, “모의치료실 내 직원이 있는 상태에서 방사선 조사” 사고유형은 210에서 140으로 감소하였다. 잔류인원을 확인하지 않아 발생하는 사고유형의 RPN 값이 특히 많이 감소한 것을 확인하였다. 여기서 해당 값이 처음에 왜 높게 나왔는지에 대한 의문에 대한 추가적인 확인이 필요하다. 예방조치는 사용시설 내부에 시야 방해 요인을 제거하여 사각지대를 최소화하고, CCTV를 추가하거나 교체하여 잔류인원 확인을 강화할 수 있었다. 그 외에 환자가 확인하고 사용할 수 있는 출입문 비상스위치 안내, 비상호출 시스템 설치 등의 조치로 인해 RPN 값이 감소한 것으로 예상된다.

직원들의 안전인식이 예방조치 후에 증가하였다. 직원안전문화는 2.24 ± 0.57 에서 3.93 ± 0.51 로, 환자안전문화도 2.20 ± 0.47 에서 3.73 ± 0.62 로 향상되었다. 출입자가 있을 때는 방사선 작업종사자와 함께 이동하여야 하며, 방사선 조사 전에는 사용시설 내부의 잔류인원을 확인하고 사용 중에는 계속해서 모니터링이 필요하다. 이러한 내용은 안전사고 예방을 위해 매우 중요하므로, 해당 내용이 포함된 출입자 지침과 안내, 교육자료, 그리고 모니터링 관련 매뉴얼을 강화하였고, 이에 따라 직원들의 안전인식이 증가한 것으로 사료된다.

임상에서 발생할 수 있는 다양한 사고유형을 예측하고, P-mSHEL 모델을 활용하여 해당 위험 요인을 파악할 수 있었다. 이를 기반으로 방사선 안전사고의 예방조치를 진행하였고, RPN 값의 감소와 안전인식의 증가를 통해 예방조치의 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구는 부서 직원을 대상으로 하였기 때문에 안전인식을 측정할 대상이 제한적이었고, FMEA 분석은 연구자의 주관이 많이 반영되는 평가 방법이므로 위험 수준 평가를 보완할 필요가 있다. 또한, 다양한 예방조치를 시행함에 따라 특정 예방조치에 대한 유용성을 별도로 확인할 수 없었다는 점이 한계점이었다.

V. 결론

본 연구를 통해 방사선종양학과에서 발생할 수 있는 방사선 안전사고 유형을 예측할 수 있었다. FMEA 분석에서 RPN이 높은 사고유형을 식별하고, P-mSHEL 모델을 활용하여 해당 사고유형의 위험 요인을 분석할 수 있었다. 이를 토대로 예방조

치를 시행하였고, 예방조치 전후의 FMEA 결과와 안전인식을 비교하여 확인하였다. 예방조치 후에는 대부분 사고유형의 RPN 값이 감소하였으며, 직원들의 안전인식에서는 직원안전문화와 환자안전문화가 크게 향상되었음을 확인하였다.

출입구 스위치, 비상 호출벨, CCTV 등 설비의 작동 상태, 그 외 환경 모니터링에 대한 관리를 지속해서 수행해야 하며, 미흡한 사항이 발견되면 즉시 조치해야 한다. 기록의 관리, 안전 지침의 점검, 직원 교육, 환자 안내 등의 활동이 구성원들 간 협력하여 지속되어야 한다. 이후에도 정기적으로 방사선 안전사고 유형을 파악하고 위험 요인을 분석하여 예방조치를 진행하는 것이 필요하다.

REFERENCES

- [1] Jang ES, Beak SM, Ko SJ, Kang SS. A study for advanced radiation therapy. The Journal of Korean Radiation Therapy. 2008;20(2):115-22. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO200829362560419&oCn=JAKO200829362560419&dbt=JAKO&journal=NJOU00394539>
- [2] Vennart J. The 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Journal of Radiological Protection, 1991;11(3):199-203. DOI: 10.1088/0952-4746/11/3/006
- [3] Christodouleas JP, Forrest RD, Ainsley CG, Tochner Z, Hahn SM, Glatstein E. Short-term and long-term health risks of nuclear-power-plant accidents. New England Journal of Medicine, 2011;364(24):2334-41. DOI: 10.1056/NEJMra1103676
- [4] Kim JH, Ko SJ, Kang SS, Choi SY, Kim CS. Analysis of radiation/radioactivity-related knowledge, perception and behaviors of radiological technologists. Journal of Radiological Science and Technology, 2011; 34(2):123-9. Retrieved from <https://ksrs.jams.or.kr/po/volisse/sjPubsArtiPopView.kci?soceId=INS000001040&artiId=SJ0000000204&sereId=SER000000001&submCnt=1&indexNo=5>
- [5] Han EO, Kwon DM. Analysis of the trend of knowledge, attitude and behavior related to radiation safety management: Focused on radiation workers at medical institutions. Journal of Radiological Science and

Technology, 2007;30(4):321-7. Retrieved from <https://ksrs.jams.or.kr/po/volisse/sjPubsArtiPopView.kci?soceId=INS000001040&artiId=SJ0000000035&serId=SER000000001&submCnt=1>

[6] Park CH, Lee SH, Kim NK, Kim KW. Analysis of status of radiation/radioisotopes utilization [Internet]. Journal of Radiation Protection and Research, 2017;42(1):1-8. DOI: 10.14407/jrpr.2017.42.1.1

[7] Park HM, Hong HS, Kim JH, Joo KS. Development of a portable device based wireless medical radiation monitoring system, Journal of Radiation Protection, 2014;39(3):150-8. DOI: 10.14407/jrp.2014.39.3.150

[8] Kweon DC. Radiation dose measurement of D-shuttle dosimeter for radiation exposure management system, Journal of the Korean Society of Radiology, 2017; 11(5):321-8. DOI: 10.7742/JKSR.2017.11.5.321

[9] Lee BI, Kim T, Lim YK. Performance analysis of Electronic Personal Dosimeter(EPD) for external radiation dosimetry, Journal of Radiation Protection and Research, 2015;40(4):261-6. DOI: 10.14407/jrp.2015.40.4.261

[10] Radiation safety management integrated information network [Internet]. Daejeon: Korea Institute of Nuclear Safety [cited 2023 May 23]. Retrieved from <https://rais.kins.re.kr/#>

[11] Lee YS, Lee JW, Lee YJ. Development of the process mapping for the radiation safety management, Journal of Radiation Protection and Research, 2013;38(3):149-56. DOI: 10.14407/jrp.2013.38.3.149

[12] Kim CH, Lee MH. A study on Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for preoperative risk prevention, Journal of Korean Academy of Nursing Administration, 2016;22(5):415. DOI: 10.1111/jkana.2016.22.5.415

[13] Yang NY, Lee MH. Analysis of effects of chemotherapy using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) on patient safety and safe nursing, Journal of Korean Academy of Nursing Administration, 2015;21(3):254. DOI: 10.1111/jkana.2015.21.3.254

[14] An SH. Analysis of factors behind human error in fatal construction accidents using the m-SHEL model, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2022;22(4):415-23. DOI: 10.5345/JKIBC.2022.22.4.415

[15] Komatsubara A. Theories and techniques of safety ergonomics. Seoul: Sejinbook; 2018.

[16] Kim SH. A study on the safety perception of university students [master's thesis]. Chungbuk: University of Chungbuk National; 2018.

[17] Technical standards for radiation safety management in the medical field [Internet] Nuclear Safety and Security Commission Notice, 2019-6 [cited 2023 May 23]. Retrieved from <https://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000178323>

[18] Prevention of Accidents to Patients Undergoing Radiation Therapy. ICRP Publication 86. Retrieved from <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2086>

[19] Park CK, Hwang CH, Kim DH. An analysis of the awareness and performance of radiation workers' radiation/radioactivity protection in medical institutions?: Focused on busan regional medical institutions. Journal of Radiological Science and Technology, 2017;40(1):101-8. DOI: 10.17946/JRST.2017.40.1.15

구분	성명	소속	직위
제1저자	김영록	순천향대학교 부천병원 방사선종양학과	방사선사 / 석사
공동저자	김대건	순천향대학교 부천병원 방사선종양학과	방사선사 / 박사
교신저자	정재홍	순천향대학교 부천병원 방사선종양학과	의학물리사 / 박사