

# Multidimensional Model for Assessing Risks from Occupational Radiation Exposure of Workers

Yu-Jung Bae,<sup>1</sup> Byeong-soo Kim,<sup>2</sup> Da-yeong Gwon,<sup>3</sup> Yong-min Kim<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

<sup>2</sup>Korea Institute of Nuclear Safety

<sup>3</sup>Department of Radiological Science, Catholic University of Daegu

Received: November 30, 2017. Revised: December 25, 2017. Accepted: December 31, 2017

## ABSTRACT

The current radiation risk assessment for occupational exposure is based on the measured exposure dose and health checkups of workers. This people-centered risk assessment may occur errors because absence of using personal dosimeter or unrelated health symptoms of individuals lead to difficulties in obtaining accurate data from workers. In addition, although the established legal upper dose limit was used as a reference for the assessment, it does not imply that this limit is the optimal dose of radiation workers should get; ALARA principle should always be appreciated. Therefore, a new risk assessment model that can take account of all the important factors and implement optimization of radiation protection is required at the national level.

In this paper, based on the KOSHA Risk Assessment, we studied on the workplace-centered risk assessment model for radiation field rather than the people-centered. The result of the study derived a right model for radiation field through the analysis of the risk assessment methods in various fields and also found data acquisition methods and procedures for applying to the model. Multidimensional model centering on the workplace will enables more accurate radiation risk assessment by using a risk index and radar plot, and consequently contribute to the efficient worker management, preemptive worker protection and implementation of optimization of radiation protection.

Keywords: Radiation risk assessment, Occupational exposure, Optimization, Workplace, Multidimensional model

## I. INTRODUCTION

전 세계적으로 원자력 및 방사선을 이용하는 산업이 증가함에 따라 방사선분야 종사자수도 꾸준히 증가하여왔다.<sup>[1,2]</sup> 이러한 방사선분야 종사자들은 직업상 방사선 작업을 수행함으로써 주기적이고 반복적으로 피폭을 받고 있으며, 평균적으로 일반인들에 비해 높은 연간선량을 기록하고 있다. 또한, 종사자들이 받고 있는 직업상 피폭은 아직까지 선량-반응의 인과관계가 불분명한 100 mSv 이하의 저선량 방사선 영역에 해당하여 인체의 위해도 및 건강영향평가에 대한 관심과 논쟁이 계속되고 있다.<sup>[3]</sup> 이에 따라 방사선분야 종사자들의 위험

성을 평가하고 관리하기 위한 범국가적 차원의 노력이 계속적으로 요구되고 있다.

국내에서는 종사자들을 방사선 피폭으로부터 방호하기 위해 관련 법규를 통해 선량한도를 정하고 있다. 이에 따라 종사자종합정보시스템(RAWIS; Radiation Worker Information Service System), 국가 방사선작업종사자안전관리센터(KISOE; Korea Information System on Occupational Exposure) 및 피폭선량관리센터(NDT; National Dose Registry)를 통해 피폭선량 관리 및 건강진단에 중점을 둔 종사자 안전관리를 시행하고 있다. 이러한 개인 중심의 종사자안전관리는 선량계를 미착용하는 종사자들에 대한 정확한 피폭선량 데이터 확보의 어려움과 종사자 개개

\* Corresponding Author: Yong Min Kim E-mail: ymkim17@cu.ac.kr Tel: +82-53-850-2522

인의 나이, 가족력, 흡연 및 음주 유무 등에 따른 건강진단 결과의 변동으로 인해 위험성 평가 결과에 오류를 가져올 가능성이 있다.<sup>[4]</sup> 또한 현행 방사선 위험성 평가의 기준이 되는 선량한도는 초과해서 피폭하지 않아야하는 법적 최대 상한값으로 방사선 방호에 최적화된 값을 의미하지는 않는다. 뿐만 아니라 관리해야 할 종사자수가 10만 명이 넘는 현재의 상황에서 개인적 측면의 위험성 평가는 선제적 종사자 보호보다는 단순한 기록 관리를 중심으로 하는 후향적 평가 및 관리에 그칠 수밖에 없다. 따라서 방사선분야 종사자들의 위험성을 평가하고 관리하기 위한 새로운 방사선 위험성 평가 모델 및 방법의 개발이 필요한 상황이다.

국외의 경우, 국제방사선방호위원회(ICRP ; International Commission on Radiological Protection)의 선량한도 권고아래 국가별 환경과 실정에 따라 정확한 피폭선량 분석과 종사자 위험성 평가를 위해 노력중이다. 예를 들어, 미국 원자력규제위원회(NRC)에서는 통계적 분석을 통해 모니터링 되어지는 모든 종사자 중 기록준위 이하인 "No measurable dose"에 해당하는 사람들을 제외하고 실제 선량측정이 가능한 "Number with Measurable dose"에 해당하는 사람들로만 통계 결과를 산정하고 있다.<sup>[5]</sup> 또한, 스페인 원자력안전위원회(CSN; Consejo de Seguridad Nuclear)의 경우 전 세계적 데이터인 국제방사선직업 피폭기구(ISOE; Information System on Occupational Exposure)의 피폭방사선량 데이터를 활용하여 원자로의 형태 및 지역 또는 ISOE 각 국가를 기준으로 분석하기도 하였으며, 직독식선량계 및 열형광선량계의 비교분석, 집단선량(Sv·person) 추세 분석 등을 피폭선량 분석에 함께 활용하고 있다.<sup>[6]</sup> 하지만 아직까지 방사선 분야에서 국제적으로 정해진 표준화된 위험성 평가 모델 및 종사자안전관리 방법이 존재하지는 않았다.

한편, 국내 일반산업분야에서는 근로자들의 위험 또는 건강장해방지를 위해 사업장 단위로 표준화된 위험성평가를 시행하고 있다. 이 위험성 평가는 영국, 일본 등 주요 선진국에서도 도입·시행중인 제도로 고용노동부는 위험성평가 제도를 도입한 사업장의 산업재해율이 큰 폭으로 감소하였으며

산업재해 예방에 확실한 효과가 있다고 밝힌바 있다.<sup>[7,8]</sup> 이에 본 연구에서는 비과과검사협회의 방사선작업 유형별 예상피폭선량 연구결과, 대학병원 부서별 방사선 피폭선량 분석에 관한 논문 등을 분석한 결과 방사선분야 종사자들의 위험성이 작업장별 특성과 연관됨을 확인할 수 있었다.<sup>[9-11]</sup> 따라서 고용노동부에서 실시하고 있는 "사업장위험성평가"를 바탕으로 기존의 개인적 측면이 아닌 작업장 차원에서 국내 방사선분야 종사자들의 직업상 피폭 방호를 위한 표준화된 위험성 평가 모델을 도출하고자 하였다.

## II. RISK ASSESSMENT

고용노동부에서는 산업안전보건법 제41조의2(위험성평가)를 통해 모든 사업장에 대해 위험성 평가를 수행할 것을 법적으로 규정하고 있다. "사업장 위험성 평가(Risk assessment)"란 유해·위험 요인들을 사전에 파악하여 해당 유해·위험 요인(Hazard)이 부상 또는 질병으로 이어질 수 있는 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정하고 그 위험성의 크기에 따라 감소대책을 수립하는 것으로, 결론적으로 근로자가 작업하는 작업장에 대한 모든 위험성을 평가하여 사고를 미연에 방지하고 근로자들의 생명을 지키는데 그 목적이 있다. 사업장 위험성 평가의 절차 및 구체적인 방법은 Fig. 1과 같다.<sup>[8,12-14]</sup>

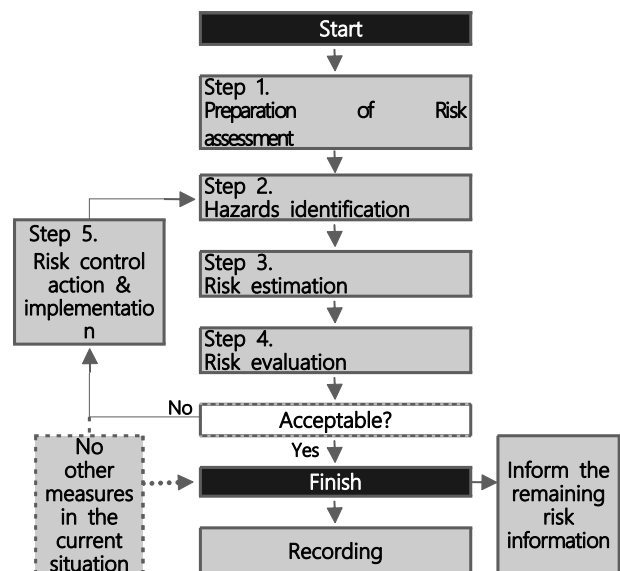


Fig. 1. The risk assessment procedure of the Ministry of Employment and Labor.

- 1 단계: 사전준비를 통해 평가대상을 선정한 후 평가대상을 작업별로 분류하며, 안전보건정보를 조사한다.
- 2 단계: 다양한 방법을 활용하여 근로자의 작업과 연관되는 모든 유해·위험요인을 찾아내고 목록화(List-up)한다.
- 3 단계: 찾아낸 유해·위험요인의 위험성을 행렬법, 곱셈법, 덧셈법, 분기법 등의 방법을 사용해서 조합하여 추정한다.
- 4 단계: 추정한 위험성의 크기를 정해진 기준과 비교하여 허용가능한 수준인지를 판단한다.
- 5 단계: 허용할 수 없는 위험성에 대해 우선순위를 정해 위험성 감소대책을 수립하고, 합리적으로 실천 가능한 범위에서 가능한 한 낮은 수준으로 감소시킨다.

사업장 위험성 평가를 통해 위험성평가에서 중요한 과정은 유해·위험요인이 누락되지 않도록 찾아내고 그 위험성의 크기를 추정하는 것임을 확인하였다. 또한 위험성 추정 방법은 그 종류에 따라 사전준비 및 유해·위험요인 파악의 방법까지 달라질 수 있으며, 따라서 위험성 평가 모델의 방향을 결정한다고 할 수 있다. 이에 여러 분야의 위험성 평가에서 사용하는 위험성 추정 방법을 조사하였다.

### III. RISK ESTIMATION METHOD IN VARIOUS FIELD

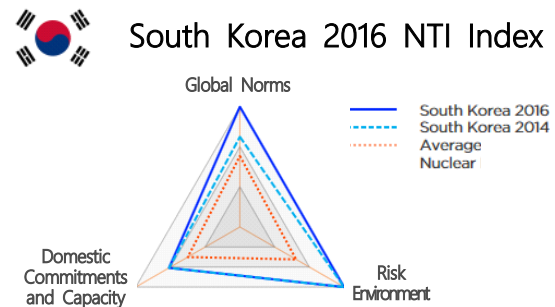
본 연구에서는 산업분야 외에 핵안보, 자동차 사고, 건설현장 화재, 산사태발생, 보험사기, 화학물질 등 다양한 분야의 위험성 평가를 분석하였으며, 대표적인 사례는 다음과 같다.

#### 1. 사칙연산(덧셈법, 곱셈법)을 이용한 점수화

핵 물질 확산을 반대하는 핵위협방지구상(Nuclear Threat Initiative)에서는 각 나라별 핵물질 보안 상태의 위험성을 핵물질안전지수(NTI Index)<sup>[15,16]</sup>로 점수화 및 순위화하고 있으며, 이를 통해 NTI는 국가별 핵물질 보안 상태를 비교·평가하고 각국 정부가 세계 핵 안보를 위해 필요한 조치를 취할 수 있도록 장려하고 있다.

NTI Index의 구체적인 점수화 과정은 다음과 같다.

1. 전 세계 176개국을 핵물질을 보유한 국가(24개국)와 보유하지 않은 국가(152개국)로 구분하여 각각 위험평가요소를 5가지, 3가지로 범주화(CATEGORY)
2. 전문가 그룹의 협의를 통한 설문지 개발(설문지는 CATEGORY, INDICATORS 및 SUBINDICATORS로 세분화, 각각 점수 및 가중치 설정)
3. 매 2년마다 각 국 대표자들을 대상으로 설문조사
4. 설문조사 답변 점수에 개발된 각 문항별 가중치를 부여, 사칙연산의 방법으로 최종점수(OVERALL SCORE) 산출
5. Radar(Spider) Plot을 이용한 최종 위험성의 삼차원적 시각화



OVERALL SCORE		Score /100	Rank /152
OVERALL SCORE		90	=5
1	<b>Global Norms</b>	100	=1
	◦ International Legal Commitments	100	=1
	◦ Voluntary Commitments	100	=1
2	<b>Domestic Commitments and Capacity</b>	100	=1
	◦ UNSCR 1540 Implementation	100	=1
	◦ Domestic Nuclear Materials Security Legislation	100	=1
	◦ Safeguards Adherence and Compliance	100	=1
3	<b>Risk Environment</b>	68	29
	◦ Political Stability	45	=93
	◦ Effective Governance	75	=5
	◦ Pervasiveness of Corruption	50	=24
	◦ Group(s) Interested in Illicitly Acquiring Materials	100	=1

OVERALL SCORE(/100)  
 =Σweighted CATEGORY SCORE  
 =Σweighted Σweighted individual INDICATORS SCORE  
 =Σweighted Σweighted Σweighted individual SUBINDICATORS SCORE

Fig. 2. Example of the four fundamental arithmetic operations ; NTI Index.<sup>[15,16]</sup>

NTI Index에서 활용한 덧셈법, 곱셈법을 조합한 사칙연산의 위험성 추정 방법은 건설현장의 위험도 산정<sup>[17]</sup>, 산사태 위험도 예측<sup>[18]</sup>, 유해물질 관리 우선순위 선정<sup>[19]</sup> 및 한국사회위험지수 분석<sup>[20]</sup> 등 여러 분야에서 가장 많이 사용하고 있는 방법이다.

### 2. 행렬법(Risk matrix)을 이용한 등급화

국제원자력기구(IAEA; International Atomic Energy Agency)에서 제시한 광범위한 시설 및 행위에 대한 해체 시 안전성 평가<sup>[21]</sup>의 주요 단계에는 불필요한 해체(decommissioning) 과정을 줄이고 피폭의 정도에 따른 차등적 해체 작업을 수행하기 위한 목적에서 위험도(활동 및 과정에 내포되어 있는 사고의 잠재요소)를 등급화 하는 과정이 포함되어 있다.

해체 시 시나리오 등급화는 사고로 인한 영향(피해)의 정도를 3단계(High, Moderate, Low), 사고가 발생할 가능성의 정도를 4단계(Anticipated, Unlikely, Extremely unlikely, Beyond extremely unlikely)로 나누어 Fig. 3 과 같이 위험도 매트릭스를 통해 계산된다. 이처럼 행렬법은 위험의 정도를 상대적으로 척도(등급)화하여 행렬(횡축×종축)을 사용하여 조합하는 위험성 추정 방법으로 사칙연산법과 함께 많이 활용되고 있다.

건축물 용도별 화재 위험도<sup>[22]</sup>에서는 화재발생과 그에 따른 인명, 재산 피해 자료를 바탕으로 방화규정이 필요한 건축물을 선정하는 위험도 분석에 행렬법을 활용한 바 있다.

Consequence level	Beyond extremely unlikely ( $<10^{-6}/a$ )	Extremely unlikely ( $10^{-4}-10^{-6}/a$ )	Unlikely ( $10^{-2}-10^{-4}/a$ )	Anticipated ( $10^{-1}-10^{-2}/a$ )
High consequence	III	II *SAR, safety significant controls	I *SAR, safety class controls for workers	I *SAR, safety class controls for the public
Moderate consequence	IV	III	II *SAR	I *SAR
Low consequence	IV	IV	III	III

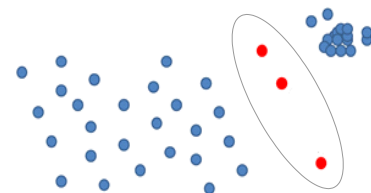
\*SAR : safety assessment report

Fig. 3. Example of risk matrix ; IAEA Risk classification for safety assessment of decommissioning.<sup>[21]</sup>

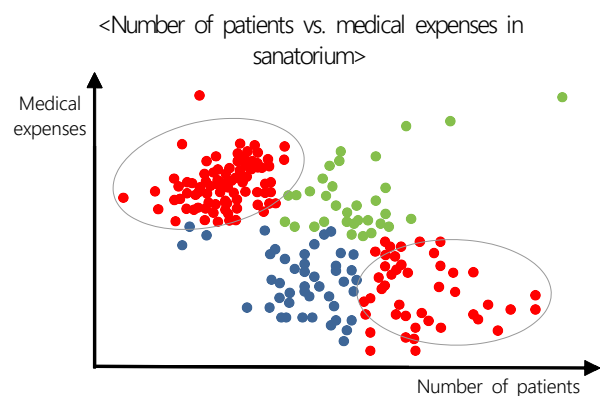
### 3. 통계적 데이터 마이닝

데이터마이닝(Data mining) 기법<sup>[23-25]</sup>이란 통계분석, 모델링 등과 같은 체계적인 방법을 통해 방대하고 복잡한 데이터 속에서 감추어진 패턴이나 상관관계, 추세 등의 정보를 발견하는 방법으로 선진국에서는 대테러 탐지, 범죄 활동 분석 등에도 활용하고 있다. 또한, 국내감사연구원에서는 위험을 일반적이지 않은 부정위험의 관점에서 평가할 수 있는 데이터마이닝을 이용하여 빈발패턴 분석을 통한 통신통 및 보험사기 파악, 분류를 통한 보험 부정 수급 예측 모형 개발, 이상치(Outlier) 분석을 통한 진료비 부정 청구 파악 등 부정위험, 비리 가능성이 있는 특이 집단 식별에 이용하고 있다.

특히 데이터마이닝 기법 중 자주 발생하지 않는 사건 또는 예외적인 경우에 해당하는 데이터인 이상치(Outlier)를 잡음(Noise)이 아닌 부정을 파악할 수 있는 유용한 정보로 활용하는 이상치 분석법은 새로운 위험성 평가 방법으로서의 적용이 기대되는 방법이다. 이러한 이상치 분석 방법에는 통계적, 인접성 기반 및 클러스터링 등의 방법이 있다.



(a) Proximity-based Outlier<sup>[25]</sup>



(b) Statistics Outlier<sup>[24]</sup>

Fig. 4. Example of Data mining.

결과적으로 위험성 평가 방법은 분야 및 목적에 따라 다양한 방법이 있으나, 평가에 사용되는 위험성 추정 방법은 사업장 위험성 평가와 대개 유사하다. 대부분의 위험성 평가는 사업장 위험성 평가에서 제시하는 덧셈법, 곱셈법, 행렬법의 위험성 추정 방법을 각 분야에 맞게 변형 및 조합하여 사용하고 있으며, 최종 위험성을 단계별 등급화 혹은 위험요인별로 분석이 가능한 다차원적 도식화를 통해 나타내고 있다. 그 외 방법으로는 통계적 방법을 사용하는 경우로 실제 데이터를 바탕으로 한 일반적인 통계법 또는 특이집단을 골라내는 데이터마이닝 기법 등이 사용된다.

각 위험성 추정 유형 및 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. Features of each risk estimation method<sup>[14,23]</sup>

추정방법	특징
사칙연산법	- 각 위험요인에 대한 위험의 정도를 점수화할 수 있어 여러 위험 요인에 대한 변경 및 계산 간단 - 등급구분, 가중치 설정에 따른 주관성이 개입 - Radar(Spider) Plot 다차원적 표현가능
행렬법 (Matrix)	- 등급구분, 할당 등 조정을 필요시 하는 부분을 최소화할 수 있어 간단하지만, 위험인자가 많아지는 경우 사용이 복잡해짐 - 횡축, 종축 단계 결정의 주관성 개입
분기법	- 위험의 가능성과 중대성, 회피가능성 등을 단계적으로 분기해나가는 단순함 - 2-3가지 단계로 분기함에 따른 구분의 정교성에 문제가 있음 - 산업계에서의 실제 이용 사례가 거의 없음
일반적 통계법	- 실제 데이터를 바탕으로 한 위험 및 추세분석 - 통계치의 정확도가 위험성 산정에 절대적영향
Data mining	- 위험에 대한 절대적인 기준이 없어도 데이터 분석을 통해 기준을 도출하고 평가할 수 있음 - 식별된 특이집단은 정상집단에 비해 상대적으로 수가 적은 것으로, 반드시 부정적(위험)이라 할 수 없는 문제 있음

#### IV. RADIATION RISK ASSESSMENT

방사선 위험성 평가 모델은 다양한 방사선 작업장(병원, 원자력발전소, 연구기관, 공공기관 및 군사시설 등)에 근무하는 모든 종사자들에 적용할 수 있는 일반적인 모델이어야 하며, 동시에 작업장별 특성에 따라 위험영향요인을 변경할 수 있는 유동적인 모델이어야 한다.

#### 1. 방사선위험성평가 모델

위험성 추정 유형별 방사선분야 적용가능성을 분석하였다. 사칙연산법은 각각의 위험인자에 대한 가중치 선정 및 등급 부여에 주관성이 들어가지만 방사선 작업장의 여러 위험인자들에 대해 목록별로 구체적인 점수화가 가능하다. 행렬법의 경우 사칙연산법과 같이 종·횡축의 위험성을 결정하는데 주관성이 들어가며, 종·횡축의 구분만으로 방사선 작업장의 여러 위험인자를 반영하기에 어려움이 예상된다. 분기법 역시 작업장의 위험인자가 많아져 2~3가지 이상으로 분기해야하는 경우 복잡해지고 어려워 질것으로 예상되며, 구체적인 수치화를 할 수도 없다. 일반적 통계법은 기존에 수행하고 있는 방사선피폭선량 통계분석과 같은 방법으로 방사선 분야의 경우 수년간 축적되어온 통계자료가 많지 않아 다양한 위험요인들을 반영한 평가에 어려움이 있을 것이다. 마지막으로 데이터 마이닝의 경우 피폭선량 및 건강진단 데이터에 대한 이상치 분석을 통해 피폭선량계 미착용, 작업량 거짓 보고 등 부정의 위험이 높은 작업자 및 특이업체 선정을 위한 보조적 수단으로 유용하게 활용할 수는 있으나 주요 평가 모델로 사용하기에는 데이터 부족 등의 한계가 있을 것으로 생각된다.

따라서, 방사선 위험성 평가를 위한 작업장 모델로는 다양한 위험요인을 반영할 수 있고 그 위험요인들이 가진 영향력의 정도를 가중치로 나타낼 수 있으며 최종적으로 위험의 정도를 점수화를 통해 정량화 할 수 있는 사칙연산(덧셈 및 곱셈)의 점수화 방법이 가장 적합한 것으로 판단된다. 더불어, NTI Index 및 위험사회에 대한 국민 의식에 관한 논문 등 점수화 방법에서 사용하고 있는 Radar (Spider) Plot 형식의 다차원적 그래프는 방사선분야의 각 범주별 위험성 혹은 전체적인 위험성을 나타내고 작업장별 위험성을 보여주기에 유용할 것이다.

#### 2. 모델 적용을 위한 데이터획득 절차 및 방법

사칙연산의 점수화 방법을 통한 방사선 작업장별 위험성 평가를 위한 구체적인 절차 및 방법을 사업장 위험성 평가 절차와 여러 위험성 평가에서의 데이터 획득 방법을 기반으로 도출하였다.

2.1 평가 대상 작업장 분류

방사선 위험성 평가를 위한 작업장 분류는 동일한 작업환경 및 피폭선량이 예상되어지는 작업장별 분류가 되어야 한다. 이를 위해서는 기존 종사자 관리 시스템에서 사용하는 업종별 분류 및 UNSCEAR 및 캐나다보건부 등에서 실시하고 있는 작업군별 분류를 확인하고, 국내 작업장의 특성을 고려하여 분류를 실시하여야 한다. 방사선 작업장의 분류는 1차적으로 의료기관, 원자력발전소 등 업종별로 분류되어야 하며, 추가적으로 필요하다면 규모별, 작업(공정)별 및 직무별 등으로 세분화되어야 할 것이다.

2.2 유해 · 위험정보과악

방사선분야 종사자들의 피폭위험성과 관련된 유해· 위험정보는 원자력안전법, 산업안전보건법 등의 법령, 방사선안전보고서, 기타 안전관련 연구보고서 및 논문 등을 통한 자료수집 방법과 종사자들을 대상으로 한 설문조사 등이 가장 적합할 것으로 예상된다.

2.3 유해 · 위험요인도출 및 요인별 가중치 설정

최종 도출된 유해·위험요인은 분류된 작업장에 공통으로 적용할 수 있고 실제 데이터를 확보할 수 있는 것이어야 하며, 이러한 유해 · 위험요인을 도출하고 가중치를 설정하는 방법으로는 방사선 종사자들을 대상으로 한 설문조사, 안전관리자 및 전문가들의 자문, 통계적 분석 방법 등을 활용할 수 있다.

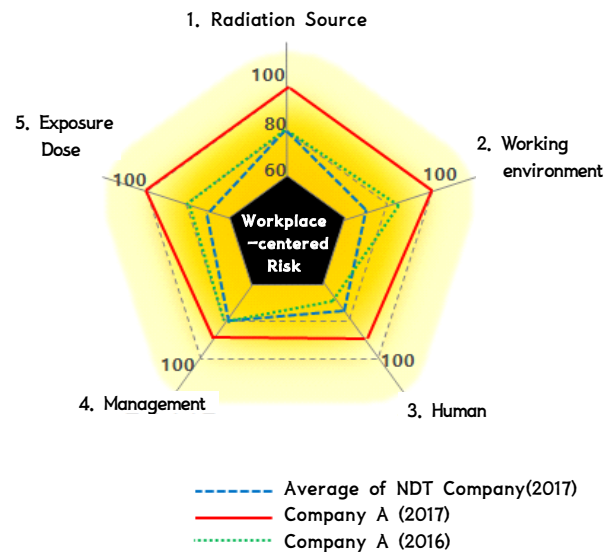
2.4 최종 데이터 획득

일반 산업분야와 달리 방사선 분야의 경우 피폭으로 인한 실제 재해 및 사고 자료는 거의 존재하지 않아 통계적 데이터를 활용하는 것은 불가능하다. 따라서 현행 종사자 관리 시스템인 한국방사선 안전재단의 방사선 작업종사자 종합정보시스템(RAWIS), 한국원자력안전기술원의 KISOE 시스템 및 질병관리본부의 피폭선량관리센터(NDT)의 데이터를 최대한 활용하고 작업장에 대한 허가 문서, 관련 정부기관 협조, 설문조사 등의 방법을 추가적으로 이용하여야 할 것이다.

V. RESULT

본 연구에서는 사업장 위험성 평가 및 여러 분야의 위험성 추정방법을 비교·분석하였으며, 이를 통해 방사선분야 종사자들의 안전관리를 위한 방사선 위험성 평가 모델로 사칙연산의 점수화 및 다차원적 Radar Plot을 이용한 방사선 작업장별 위험성 평가 모델을 도출하였다. 또한, 구체적인 데이터 획득 절차 및 방법을 연구하였으며, 이를 바탕으로 5차원의 Radar Plot 모델을 이용한 가상의 비파괴업체에 대한 위험성 평가의 예를 나타내었다.

Five-dimensional Radiation Risk Assessment



Category	Hazards	Weighting Factor	Score (점수범위)	Score (/100)
1.Radiation Source	Radioactivity	20%	4 (0~4)	20
2.Working Environment	2.1 Existence of RT room	25%	70% 1 (0, 1)	25 100
	2.2 Workload		30% 4 (0~4)	
3.Human	Knowledge level (Ex. Certificate, license)	10%	4 (0~5)	8
4.Management	Number of items pointed out at regular inspection	10%	4 (0~5)	8
5.Exposure Dose	Average exposure dose	35%	5 (0~5)	35
<b>Overall Score</b>				<b>96</b>

Fig. 5. Example of radiation risk assessment of a hypothetical non-destructive inspection company by using multidimensional model.

Fig. 5에 나타난 5차원의 Radar Plot을 통해 우리는 가상의 업체 A는 다른 비파괴업체들에 비해 비

교적으로 우수하게 방사선 안전 행위를 하고 있으며, 전반적으로 전년도(2016) 대비 안전관리수준이 높아지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 범주별 점수를 통해 보다 안전한 작업장을 조성하기 위해서 작업자 측면과 관리적 측면을 보강하여야 함을 알 수 있다.

이처럼 점수화 및 다차원적 Radar Plot 모델을 이용한 방사선 작업장별 위험성 평가는 위험요인 및 가중치의 주관성이라는 단점이 있으나 여러 측면에서 복합적으로 평가한 정량적인 수치를 바탕으로 각 작업장의 방사선 위험도를 절대적(100점:매우안전함) 기준에서 평가할 수 있을 뿐만 아니라 연도별 점수변화 및 타 업체들과의 평균비교 등을 통해 상대적 비교 평가를 동시에 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 분류된 작업장에 따라 위험요인 및 가중치, 범주 등을 변경할 수 있어 방사선 작업장별 특성을 보다 잘 반영할 수 있으며, Radar Plot은 이러한 변화를 다차원적으로 시각화할 수 있어 방사선 분야의 위험성 평가에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## VI. DISCUSSION

사칙연산의 점수화 및 다차원적 Radar Plot을 이용한 위험성 평가 모델은 2010년 IAEA ISEMIR(Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry & Research) 프로젝트를 통해 구성된 산업방사선분야 전문가 그룹 WGIR (Working Group on Industrial Radiography)에서 종사자들의 피폭이 방사선 방호의 최적화를 유지하고 있음을 자체 평가하기 위해 만든 "Road Map Tool"에서의 평가 방법과 일맥상통하며, 이를 통해 본 연구 결과의 활용가능성을 재확인할 수 있었다.<sup>[26,27]</sup>

그러나 본 연구에서 도출한 위험성 평가에서도 여전히 부정 위험 없는 정확한 피폭선량 데이터 확보가 중요한 문제로 남아있으며, 따라서 앞서 살펴본 통계적 데이터마이닝 기법에서의 이상치(Outlier) 분석 혹은 미국 REIRS의 기록준위 이하 종사자를 제외한 피폭선량 분석 방법 등을 위험성 평가의 보조적 수단으로 활용하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

## VII. CONCLUSION

국내 방사선분야 종사자들의 직업상 피폭 방호를 위한 새로운 위험성 평가 모델 개발을 위해 고용노동부의 사업장 위험성 평가 방법을 기반으로 여러 분야의 위험성 평가 방법 및 모델을 분석하였다.

기존의 위험성 평가가 방사선 종사자 개인의 피폭선량 및 건강진단 결과를 중심으로 이루어진다면 본 연구에서 도출한 다차원적 모델을 통한 위험성 평가는 종사자가 근무하는 작업장을 중심으로 하며 선량한도 이외에 선원적, 작업 환경적 및 관리적 측면 등에 대한 복합적 평가가 가능하다. 따라서 기존의 선량계 미착용, 개인의 건강 기호 등으로 인한 오류의 영향을 줄일 수 있으며, 다양한 위험 인자에 대한 다각적 측면에서의 평가가 가능할 것이다.

특히, 다차원적 모델에서 사용한 각 위험요인에 대한 사칙연산의 점수화는 구체적인 수치를 통한 절대 평가 및 타 업체와의 비교 평가 결과를 동시에 보여줌으로서 종사자 및 사업주들에게 방사선 위험에 대한 보다 객관적이고 신뢰적인 지표를 제공하여 안전 의식 개선을 도모할 수 있다. 또한 개인이 아닌 사업장 단위로 위험요인을 선정하고 그 위험성을 등급화하여 평가함으로써 위험 가능성이 상대적으로 높은 작업장을 우선적으로 파악할 수 있어 국가적 관리 차원에서 볼 때 많은 종사자들을 효율적으로 관리할 수 있을 것이다.

그러나 이러한 다차원적 위험성 평가 모델은 위험요인을 선정하고 가중치를 설정하는데 있어 주관성이 이 따를 수밖에 없으며, 따라서 방사선 위험성 평가를 위한 표준모델로 활용하기 위해서는 위험요인 도출 및 적절한 가중치 설정 방법 등에 대한 많은 검토와 논의가 필요하다. 또한 위험의 범주로 반드시 포함되어져야 할 피폭선량 데이터의 정확성을 높이기 위해 통계적 처리방법에 대한 연구, 무분별한 종사자 등록에 대한 관리 및 적극적으로 참여하는 방사선 업체들의 노력을 인정하기 위한 제도 등이 뒷받침되어져야 할 것으로 판단된다.

다차원적 위험성 평가 모델이 국가 종사자 위험성 통합관리 모델로서 활용된다면 방사선 종사자

들의 작업환경을 개선하고, 피폭선량을 감소하며 방사선 방호의 최적화를 실현하는데 기여할 수 있을 것이다.

### Acknowledgement

본 연구는 한국원자력안전기술원의 지원을 받아 수행되었음.

### Reference

- [1] NSSC, "2016 Nuclear Safety Yearbook", 2017.
- [2] Centers for Disease Control and Prevention, "2015 Report Occupational Radiation Exposure in Diagnostic Radiology", Medical Radiation Management Series No.8, 2016.
- [3] KINS, "Study on the Descriptive Radiation Risk Factor for the feasibility analysis of KISOE system application", KINS/HR-1403, 2015.
- [4] S. H. Kim, Medical Radiation Protection for Patient according to Perception and Attitude on Medical Radiation Exposure of Radiological Technologists, Graduate school of Public Health, Kyungpook National University Daegu, 2015.
- [5] U. S. NRC, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors and Other", NUREG-0713 Vol. 34, 2012.
- [6] CSN, "Evolucion de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares espanolas y su comparacion en el contexto internacional de los paises del ISOE", 2013.
- [7] MOEL, "Risk assessment system proves effective in preventing industrial accidents", Employment and Labor News, Feb. 23, 2017.
- [8] KOSHA, "2017 Risk Assessment Guideline", 2017-safety-762, 2017.
- [9] Ministry of Science, ICT and Future Planning, "A Study on the Promotion Plan for Nondestructive Examiner's Safety", 2013M2B5A1033021, 2014.
- [10] C. G. Kang, K. B. Oh, H. H. Park, "Medical Radiation Exposure Dose of Workers in the Private Study of the Job Function", The Korean journal of nuclear medicine technology, Vol.15, No.2, 2011.
- [11] S. M. Baek, E. S. Jang, "Comparative evaluation of radiation exposure in radiation-related workers", The Korean Society of Radiology, Vol.5, No.4, pp.195-200, 2011.
- [12] MOEL, KOSHA, & Safenet, "Risk Assessment Manual", 2012.
- [13] KOSHA, "Practical Guidelines for Risk Assessment for Field Workers", 20125-Education Media-752, 2015.
- [14] J. W. Jung, *Risk Assessment*, ELABOR, 2013.
- [15] NTI, "NTI Nuclear Materials Security Index:Building a Framework for Assurance, Accountability, and Action", second Edition, 2014.
- [16] <http://www.ntiindex.org>
- [17] H. S. Lee et al., "Korean Institute Of Construction Engineering and Management", Korean Institute Of Construction Engineering and Management, Vol.10, No.6, 2009.
- [18] S. W. Lee et al., "Development of Landslide-Risk Prediction Model thorough Database Construction", Journal of the Korean geotechnical society, Vol.28, No.4, 2012.
- [19] J. Y. Jeong et al., "Prioritizing Management Ranking for Hazardous Chemicals Reflecting Aggregate Exposure", The Korean Society of Food Hygiene and Safety, Vol.27, No.4, 2012.
- [20] M. S. Kim, S. W. Kim, S. B. Sin, "Attitudes towards Social Risks in Korea", Health and welfare policy forum, Vol.210, pp.49-64, 2014.
- [21] IAEA, "Safety Assessment for Decommissioning", IAEA Safety Reports Series No.77, 2013.
- [22] J. D. Shin et al., "Analysis of Fire Risk with Building Use Type Using Statistical Data", Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.12, No.4, 2012.
- [23] C. S. Kim, K. Y. Cha, "Use of data mining techniques in auditing for effective detection of corruptions", Executive Report(2009-10), Audit and Inspection Research Institute, 2009.
- [24] K. Y. Cha, C. S. Oh, "A study on Data mining application for detection of fraud risk", 2015-001, Audit and Inspection Research Institute, 2015.
- [25] Jiawei. Han et al., *Data mining*, Acorn, 2015.



- [26] IAEA, "The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research(ISEMIR): Industrial Radiography", IAEA-TECDOC-1747, 2014.
- [27] <https://www-ns.iaea.org/tech-areas/communication-networks/orpnet/isemir-roadmap-tool.asp>.

## 직업상 피폭에 따른 방사선 위험성 평가를 위한 다차원적 모델

배유정,<sup>1</sup> 김병수,<sup>2</sup> 권다영,<sup>3</sup> 김용민<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>대구경북과학기술원

<sup>2</sup>한국원자력안전기술원

<sup>3</sup>대구가톨릭대학교 방사선학과

### 요 약

직업상 피폭에 대한 현행 방사선 위험성 평가는 종사자의 피폭선량 평가 및 건강진단에 중점을 두고 있다. 이러한 개인 중심의 위험성 평가는 선량계 미착용 및 개개인의 기호로 인한 건강영향 문제 등 정확한 데이터 확보의 어려움으로 인한 오류의 가능성이 있다. 또한 평가의 기준이 되는 선량한도는 법적 최대 상한값으로 방사선 방호에 최적화된 값을 의미하지는 않는다. 이에 선원적, 환경적 및 인적 측면을 복합적으로 고려할 수 있고 방사선방호의 최적화를 이행할 수 있는 국가적 차원의 새로운 위험성 평가 모델이 요구되고 있다. 본 연구에서는 고용노동부의 위험성 평가에 기반하여 개인이 아닌 작업장 중심의 위험성 평가 모델을 연구하였다. 이를 위해 여러 분야의 위험성 추정 방법을 분석하여 방사선 분야에 적용하기 적합한 모델을 도출하고, 모델에 적용하기 위한 데이터 획득 방법 및 절차에 대해 기술하였다. 본 연구에서 도출한 작업장 중심의 다차원적 위험성 평가 모델은 위험성을 점수화하고 Rader Plot을 이용하여 표현함으로써 보다 정확한 방사선 위험성 평가를 가능하게 하며, 결론적으로 효율적인 종사자 관리, 선제적 종사자 보호 및 방사선 방호의 최적화 이행에 기여할 것으로 판단된다.

중심단어: 방사선 위험성 평가, 직업상 피폭, 방호의 최적화, 작업장, 다차원적 모델