Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 19, No. 1, pp. 81-90, 2025
https://doi.org/10.23042/radin.2025.19.1.81

Technical article

방사선 작업 종사자 안전 증대를 위한 피폭 선량예측 관리시스템 개발

정성관[1] · 강신영[1] · 안경익[1,*]

[1]시버리솔루션스 주식회사

Development of a Radiation Dose Prediction and Management System for Enhancing the Safety of Radiation Workers

Sungkwan Jung[1], Shinyoung Kang[1], and Kyungik Anders AN[1,*]

[1]Seabury Solutions, Inc., 193, Hannuri-daero, Sejong-si 30130, Republic of Korea

ABSTRACT This study presents the development of a radiation dose prediction and management system (DoseSim) aimed at enhancing the safety of radiation workers. The system is designed to systematically predict, evaluate, and optimize radiation exposure based on accumulated data, supporting the implementation of the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle. The DoseSim system integrates diverse datasets, including 3D modeling, radiological source information, and previous exposure records, to provide a comprehensive framework for radiation protection. By enabling detailed simulations of radiation exposure scenarios, the system assists in minimizing dose variations among workers and improving the overall efficiency of radiation management. Key features include dose simulation, comparative analysis, and data visualization, which facilitate decision-making and training processes. The results demonstrate the potential of DoseSim to enhance radiation safety practices in environments such as nuclear power plants. Future research will focus on refining the system with real-world data and expanding its applicability to various radiological work environments. This work contributes to advancing data-driven radiation protection strategies and improving worker safety in the radiological industry.

Key words: Radiation dose prediction management system, DoseSim, Radiation workers, Exposure optimization

1. 서 론

원자력발전소의 운영 및 유지보수 작업에서 방사선 방호에 대한 고려는 필수적인 사항이다. 대부분의 국가와 마찬가지로 우리나라는 방사선 안전관리 기준 및 규정과 관련하여 국제 방사선 방호 위원회(ICRP)의 권고를 참조하여 원자력안전법 및 관련 법령을 제정하여 시행하고 있다. 특히, '방사성물질의 방출량 및 피폭선량을 "가능한 한 합리적으로 낮게" 유지하기 위하여 필요한 조치', 즉 소위 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 원칙을 따르도록 명시하고 있다[1].

원자력발전소의 안전한 운영을 위한 정비 작업은 원전이 정상 가동되는 상태에서 수행되는 예방정비 활동, 계획된 연료 재장전 기간에 수행되는 계획정비, 그리고 일부 기기의 이상 발생시 정비계획 수립을 통해 수행되는 중간정비의 세가지 상황으로 구분될 수 있으며, 각 방사선 작업들에 대해 원전방사선관리연보에 작업코드와 작업명이 분류되어 관리되고 있다[2]. 이러한 작업들은 방사선 피폭선량 관리규정에 따라 방사선작업종사자의 전체적인 피폭선량에 대해서는 적절한 수준으로 관리하고 있지만 여전히 개선이 필요한 사항들이 존재한다. 특히, 계획정비 기간 중 특정 작업들(분해/조립, 핵계측계통 작업 등)에서는 400 man-mSv 이상의 높은 방사선량이 여전히 발생하고 있어 방사선작업종사자들 간의 피폭선량의 편차가 크게 나타나고 있다[3].

방사선 방호의 기본 원칙인 ALARA 원칙을 실현하기 위해서는 방사선작업종사자들의 피폭선량을 가능한한 합리적으로 낮게 유지하는 한편, 방사선작업종사자들 간의 피폭선량 편차를 개선하기 위한 노력이 필요하다. 더불어, 기존 방사선 작업 계획의 평가 기록, 수행 결과의 검토를 바탕으로 개선사항에 대해 끊

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2025 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Kyungik Anders AN
Tel: +82-44-867-8482, Fax: +82-44-867-8482, E-mail: kan@seaburysolutions.com
Received 2 December 2024 **Revised** 21 March 2025 **Accepted** 24 March 2025

임없이 보완해 나가는 지속적인 노력이 필요하다. 이를 위해 기존의 방사선 작업계획 및 절차와 그에 따르는 작업자들의 세부 작업 시나리오를 검토하고, 현재의 방사선환경에 따른 작업자들의 피폭선량을 예측하고 이를 개선할 수 있는 방안에 대해 다각적으로 검토해야 하며, 이를 효과적으로 수행하기 위한 시스템적인 지원에 대해 검토할 필요가 있다. 특히, 축적된 노하우를 보유하고 있던 전문가들의 고령화로 이러한 복합적 비교 검토 작업의 데이터 축적 및 시스템 지원의 필요성이 높아지고 있다. 본 논문에서는 ALARA 개념과 규제를 준용하면서 방사선작업 계획의 피폭 영향 평가의 지속적인 개선을 지원할 수 있는 데이터기반 의사결정 지원 시스템의 개발에 대해 다루고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 고려 사항

2.1.1. 배경

ICRP 103은 International Commission on Radiological Protection (ICRP, 국제 방사선 방호 위원회)가 2007년에 발표한 방사선 방호에 관한 최신 권고 사항으로, 전 세계적으로 각 나라의 규제 기관 및 산업계에서 방사선 안전 관리 및 방사선 위험으로부터의 보호 기준으로 활용하고 있다[4]. ICRP 103에서 권고하는 방사선 방호의 세가지 핵심 원칙은 정당화 원칙, 방사선 방호 최적화 원칙, 선량한도적용 원칙으로, 이 중 선량한도적용 원칙은 계획피폭 상황의 결과로 확실히 발생할 것으로 예상되는 상황에만 적용한다.

- 정당화 원칙: “Any decision that alters the radiation exposure situation should do more good than harm.” 방사선피폭 상황을 변경하는 모든 결정은 이익이 위험보다 커야 한다. 즉, 방사선피폭을 수반하는 활동은 반드시 그로 인한 이익이 방사선으로 인해 발생할 수 있는 위험을 초과해야 한다.

- 최적화 원칙: “The likelihood of incurring exposure, the number of people exposed, and the magnitude of their individual doses should all be kept as low as reasonably achievable, taking into account economic and societal factors.” 방사선 노출 가능성, 노출되는 사람의 수, 개인별 방사선 선량을 모두 경제적, 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 최저 수준으로 유지해야 한다. 흔히 ALARA 원칙이라고 한다.

- 선량한도 적용 원칙: “The total dose to any individual from regulated sources in planned exposure situations other than medical exposure of patients should not exceed the appropriate limits recommended by the Commission.” 계획된 방사선피폭 상황에서, 환자의 의료 노출을 제외한 규제된 방사선원으로 인한 개인의 총 방사선 선량은 ICRP가 권장하는 적절한 한도를 초과해서는 안 된다.

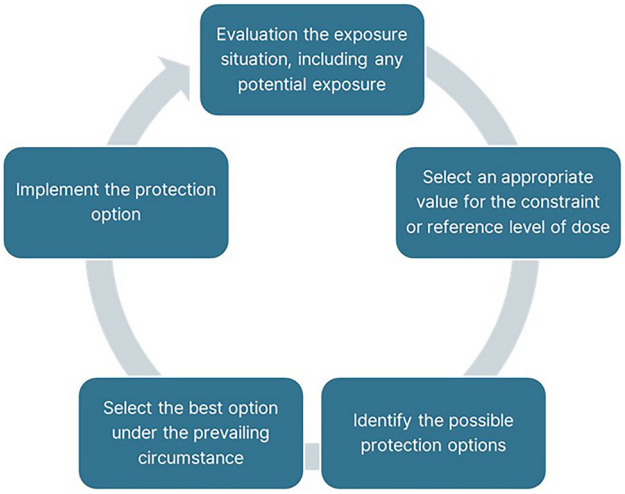

Fig. 1. Iterative optimization process concept from ICRP 101.

즉, 방사선 피폭이 발생할 수 있는 상황에서 방사선 작업 수행이 필요한 경우, ALARA 원칙에 따른 방사선 방호 최적화를 한다. 이 방호 최적화에 대해 ICRP 101 “The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process”에서 개념과 과정에 대한 세부적으로 안내하고 있다[5].

ICRP 101에 따르면, Fig. 1과 같이 방호최적화 과정은 일회성 작업이 아닌 지속적이고 순환적인 과정이며, 피폭 전, 중, 후의 상황에서 방사선 방호를 위해 할 일을 충분히 수행했는지 평가해야 한다. 이를 위해, 과거 성과, 선량(또는 기타 자료)의 경향분석, 자체감사 결과, 동료 검토, 사건 보고 및 교훈 등의 다양한 자료들을 기반으로 평가를 수행하며, 이행 결과 검토가 계획과 다를 경우 새로운 방사선 방호최적화 과정의 순환을 수행해야 한다.

2.1.2. 고려사항

즉, 원자력발전소의 운영단계 동안 지속적으로 수행되는 유지관리 방사선 작업은 작업자들의 방사선 방호 관리를 위해 일회성으로 피폭선량의 예측과 평가가 수행되는 것이 아니라, 이전 작업들에 대한 예측과 결과 검토들을 기록 보관하고 신규 작업에 대한 예측과 비교하는 한편, 동일 작업구역 및 유사 업무에서의 작업 피폭 예측 및 결과 들과 비교를 통해 끊임없는 방사선 방호최적화 과정을 수행해야 한다. 이러한 방사선 작업은 방사선 방호전문가의 전문성에 의존하기에는 한계가 있으며 결국 다양한 작업 조건과 방사선원 정보를 바탕으로 체계적이고 과학적인 피폭선량 예측 자료를 제공할 수 있는 데이터기반 의사결정 지원 시스템이 필요하다. Fig. 2는 원자력 발전소에서의 방사선 작업 관리 과정과 각 단계별 데이터기반 의사결정 지원 시스템의 필요 기능을 나타낸다.

또한, 원자력발전소 유지보수 작업의 계획 수립 및 수행 관리

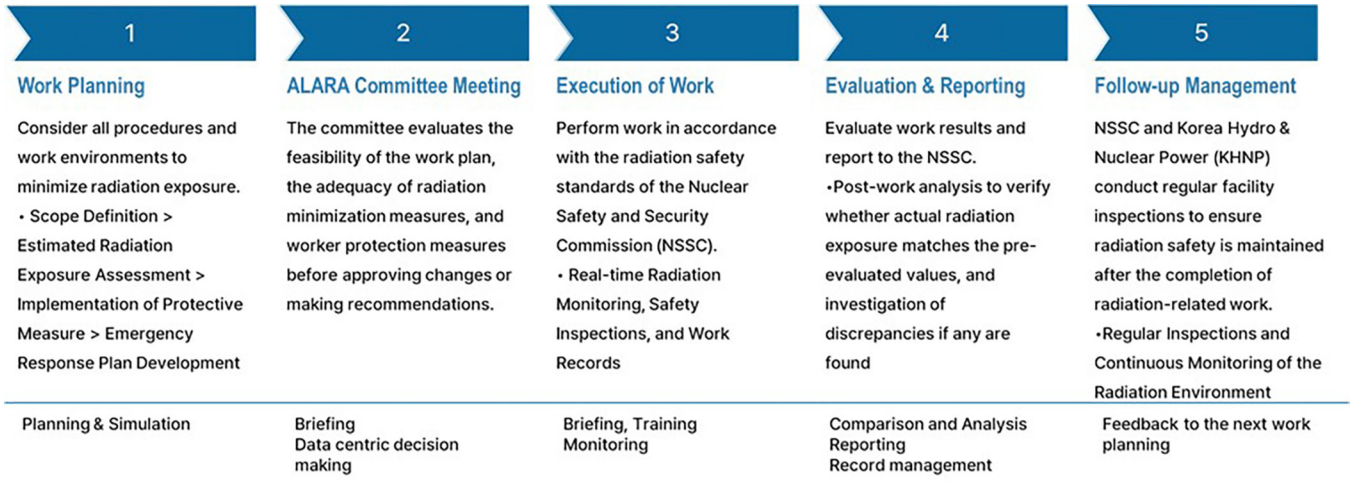

Fig. 2. Workflow and required functions for radiation zone operations.

업무는 세분화된 업무와 기술 분야의 전문성 향상에 따라 다양한 담당자들이 참여하게 되며, 이들의 역할과 전문성이 업무별로 상이하다. 따라서, 피폭선량 예측 작업을 지원하는 시스템은 각 담당자의 전문성과 역할을 효과적으로 지원할 수 있도록 설계되어야 한다[7]. 운영/유지보수 업무 담당자의 유지보수 계획 수립에 따라, 방사선 방호 업무 담당자의 방호최적화 작업이 진행되며, 이 과정에서 필요한 현재 상황에 맞는 피폭선량 예측 값 산출 작업이 선량예측 전문가에 의해 수행된다. 방사선 작업 계획의 승인 후 실제 현장에서의 방사선 작업 관리 및 작업 수행을 위해 현장 전문가들이 승인된 작업 사항들을 참고하고 방사선 작업 후 관련 기록들을 생성한다. 또한, 관리 대상물의 형상관리, 방사선장 측정/관리 등의 업무 담당자들도 관련 자료들의 생성 및 공유에 기여하게 된다. 따라서, 데이터기반 의사결정 지원 시스템은 여러 업무 담당자들의 시스템 활용 및 정보 공유를 지원할 수 있어야 한다[8].

한편, 원자력발전소 내 방사선작업종사자들이 경험하게 되는 대부분의 방사선 작업 상황에서는 사전에 발생 가능한 피폭 상황을 예측하고 그 위험도를 관리할 수 있는 상황이다. 이러한 경우, 대상 환경에서의 선원 및 선장 정보를 취득하고, 이를 반영하여 방사선 작업에 따른 예측 피폭량을 충분히 정확하게 파악할 수 있는 다양한 시뮬레이션 방법들을 충분한 시간적 여유를 갖고 적용할 수 있다. 하지만, 사고 발생과 같은 긴급상황에서는 비상대응 작업에서의 피폭선량 예측을 위한 시간이 극히 제한적이게 된다. 따라서, 이러한 시간적 제한 상황에서도 작업자의 방사선량을 평가하기 위해서는 기존의 Monte Carlo 방법론 외에 Point-kernel 방법과 같은 빠른 계산 방법의 지원 역시 필요하다[6].

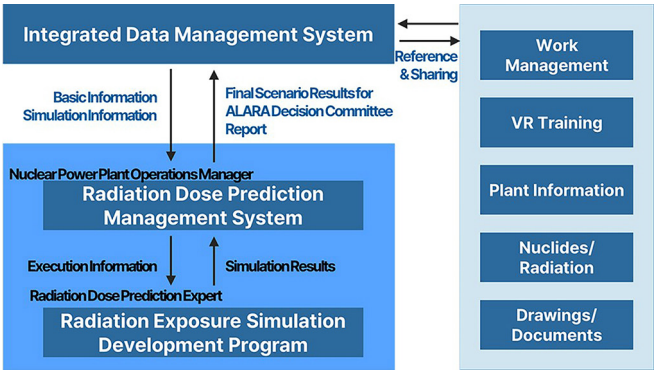

Fig. 3. Integration framework of the radiation dose prediction and management system.

2.2. 데이터기반 피폭선량 예측 관리시스템 구조

데이터기반 의사결정 지원 시스템의 필요 기능 및 여러 고려사항들을 효과적으로 지원하기 위해 Fig. 3과 같이 피폭선량예측 관리시스템(DoseSim) 연계구조를 설계하였다. 원자력발전소의 관리작업 및 방사선 방호업무를 위해 활용되는 다양한 데이터들이 한 곳에서 체계적으로 수집/관리되고 연관 업무 시스템 간 공동 활용하도록 제공하는 통합 데이터 관리시스템을 도입하여 업무 효율 향상 및 정합성 개선을 도모한다. 방사선구역내의 방사선 방호관리를 위한 피폭선량 예측 작업은 모두 피폭선량 예측 관리시스템을 통해 요청되고 수행 및 기록이 관리된다. 이를 통해 피폭선량 예측 작업의 일관되고 통일된 수행품질을 유지하고, 기존 수행 기록 및 유사 작업들 간의 비교 검토를 통해 피폭선량 예측 및 최적화 작업의 지속적인 개선을 지원한다. 이와 더불어 실제 특정 방사선 작업계획에 대한 피폭선량 예측 시

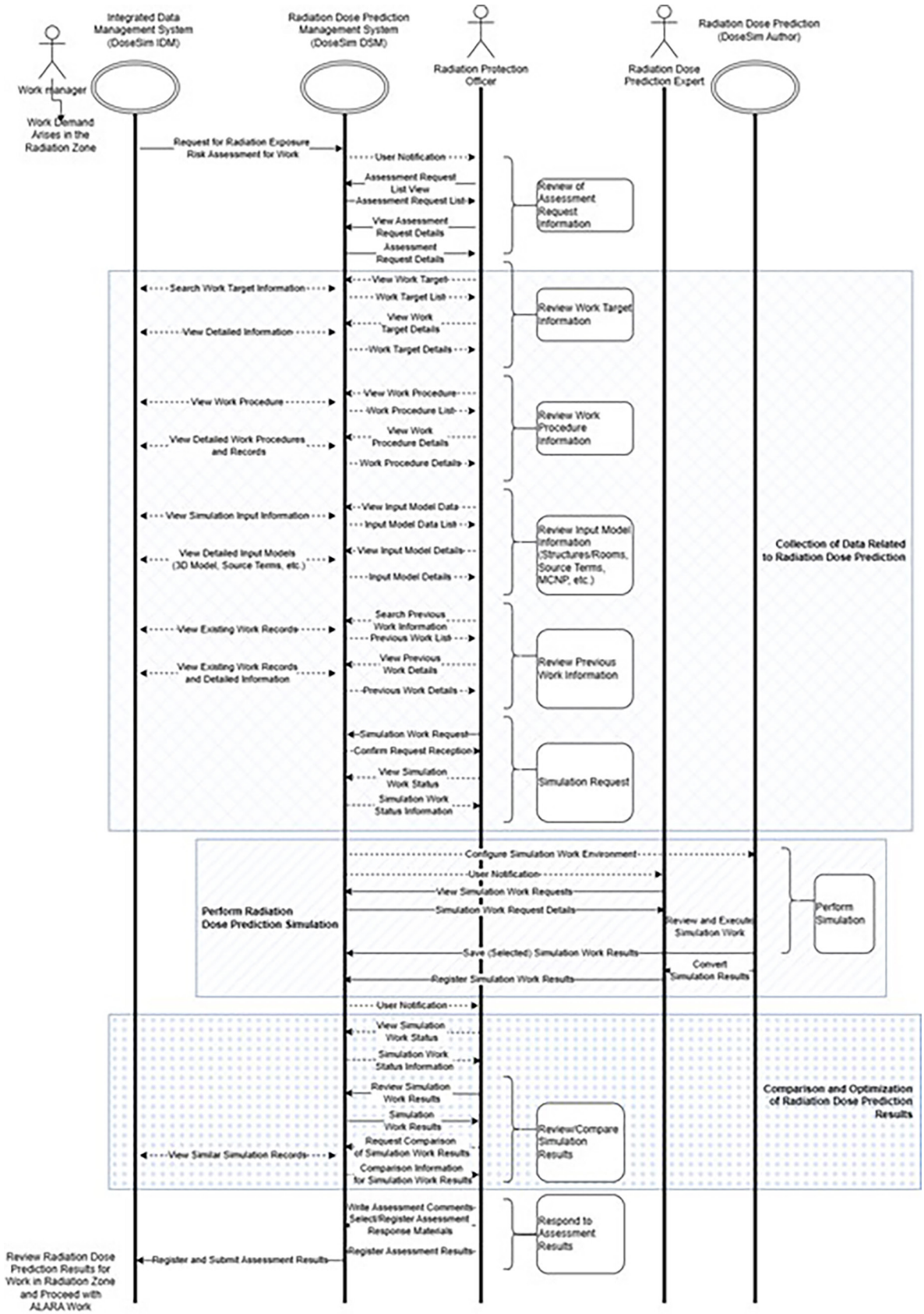

Fig. 4. Workflow of radiation dose prediction and management.

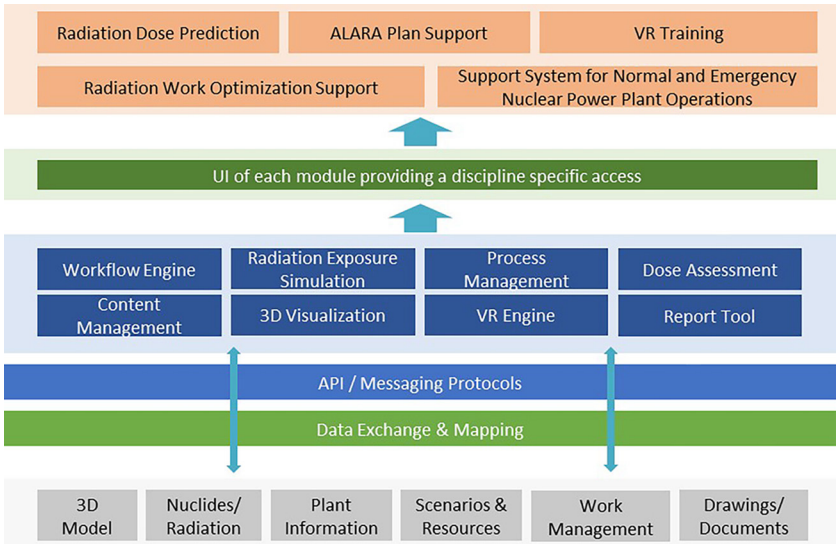

Fig. 5. Service architecture of the radiation dose prediction and management system.

뮬레이션은 별도의 피폭 시뮬레이션 제작 프로그램을 통해 실행될 수 있도록 분리한다. 이를 통해 다양한 시뮬레이션 요구 조건에 대응하여 적절한 피폭선량 계산 방식 및 도구를 활용할 수 있도록 한다.

Fig. 4는 피폭선량 예측 관리시스템을 통한 피폭선량 예측 작업의 주요 흐름을 나타낸다. 유지보수작업 소요가 발생하면 피폭선량 예측 관리시스템을 통해 방사선 방호담당자에게 대상구역에서 수행될 작업 내용과 관련한 내용을 포함하여 피폭선량 예측 작업을 요청한다. 방사선 방호담당자는 관련 내용을 확인하고, 이를 수행하기 위해 필요한 작업절차, 대상물 정보 및 시뮬레이션 모델, 최신 방사선장 측정 데이터, 선원/선장 분석데이터, 기존 작업기록 및 피폭예측 정보 등을 통합데이터관리시스템으로부터 조회하여 확인한다. 이를 바탕으로 예측 고려사항과 함께 필요한 3D모델, 선원항/선장 정보, 작업절차 등 시뮬레이션에 필요한 정보들을 취합 생성한 후, 선량예측 전문가에게 해당 작업에 대한 피폭선량 예측 시뮬레이션 수행을 요청한다. 선량예측 전문가는 예측 요청에 따라 다양한 작업 시나리오를 생성하고 각 시나리오별 피폭특성을 예측한 후 그 시뮬레이션 결과를 피폭선량 예측 관리시스템에 등록한다. 방사선 방호담당자는 시뮬레이션 결과를 검토하고 각 시나리오별 특성들을 검토하고 통합데이터 관리시스템으로부터 조회한 유사 시뮬레이션 기록들과 비교 검토하여 최적의 작업 시나리오안을 선정한다. 이때 선량 예측 시뮬레이션을 재수행 할 필요가 있으면 시뮬레이션 전문가에게 보완된 예측 고려사항들과 함께 재 수행을 요청할 수 있다. 피폭선량 예측 결과 검토를 통해 적절한 작업 시나리오가 정리되면 방사선 방호 전문가는 관련 사항들을 정리하여 ALARA위원회의 승인을 통해 방사선 작업 계획이 확정될 수 있도록 한다.

이러한 피폭선량 예측 관리시스템의 개발을 위한 서비스 아키텍처는 Fig. 5와 같다. 3D모델, 핵종/방사선, 플랜트 정보, 시나리오 및 자원, 작업관리, 기타 도면/문서 등의 관리 대상 데이터들을 제공하는 데이터서비스를 기반으로, 워크플로우, 공정 관리, 선량 평가, 컨텐츠 관리, 3D 가시화, VR, 보고서 생성, 피폭 시뮬레이션 등의 기능 모듈을 서비스 엔진으로 구성한다. 이 서비스 엔진의 기능 모듈들을 각 시스템 역할에 따라 구성한 분야별 UI 모듈을 통해 제공하며, 사용자의 용도에 따라 모듈별 액세스를 통해 피폭선량 예측, ALARA 계획 지원, 방사선 작업 최적화, VR기반 교육/훈련, 경상원전/사고 지원체계 구축 등 여러 응용서비스들과 연계하여 사용자 서비스를 제공하도록 구성한다.

피폭선량 예측 관리시스템의 관리 대상 데이터들은 데이터의 속성 및 활용 범위에 따라 “DB형 인자”와 “UI형 인자”로 구분하여 관리한다. DB형 인자에 속하는 데이터들은 방사성 핵종 목록, 핵종별 피폭선량 환산인자(DCF: dose conversion factor) 등과 같이 저장된 데이터 값이 시간에 따라 그 값의 유의성이 변화되지 않고 단지 상황에 따라 적절히 선택되어 제공되어야 하는 특성을 지닌 데이터들이며, UI형 인자에 속하는 데이터들은 특정 방사선 작업 시나리오 상에서 작업자의 작업 시간별 위치 및 자세와 같이 사용자가 직접 입력/조작한 값이나 수식 계산 과정에 따라 생성된 값들과 같이 특정 상황과 연계된 값으로써 유의성을 갖는 데이터들이다. 이러한 두 특성 차이는 시스템의 장기적 사용에 따른 데이터 증가 형태의 차이와 접근/활용 빈도의 차이를 갖고 있기에, 데이터 관리 정책과 연계 시스템의 장기 운영 유지 측면을 고려하여 시스템 설계 단계에 반영한다.

방사선 방호담당자가 선량예측 계산 방식별 특장점을 상황에 맞춰 선택적으로 활용할 수 있도록 피폭선량 예측 관리시스템은 선량예측 계산 프로그램의 작업 구성 및 결과 데이터를 공통화

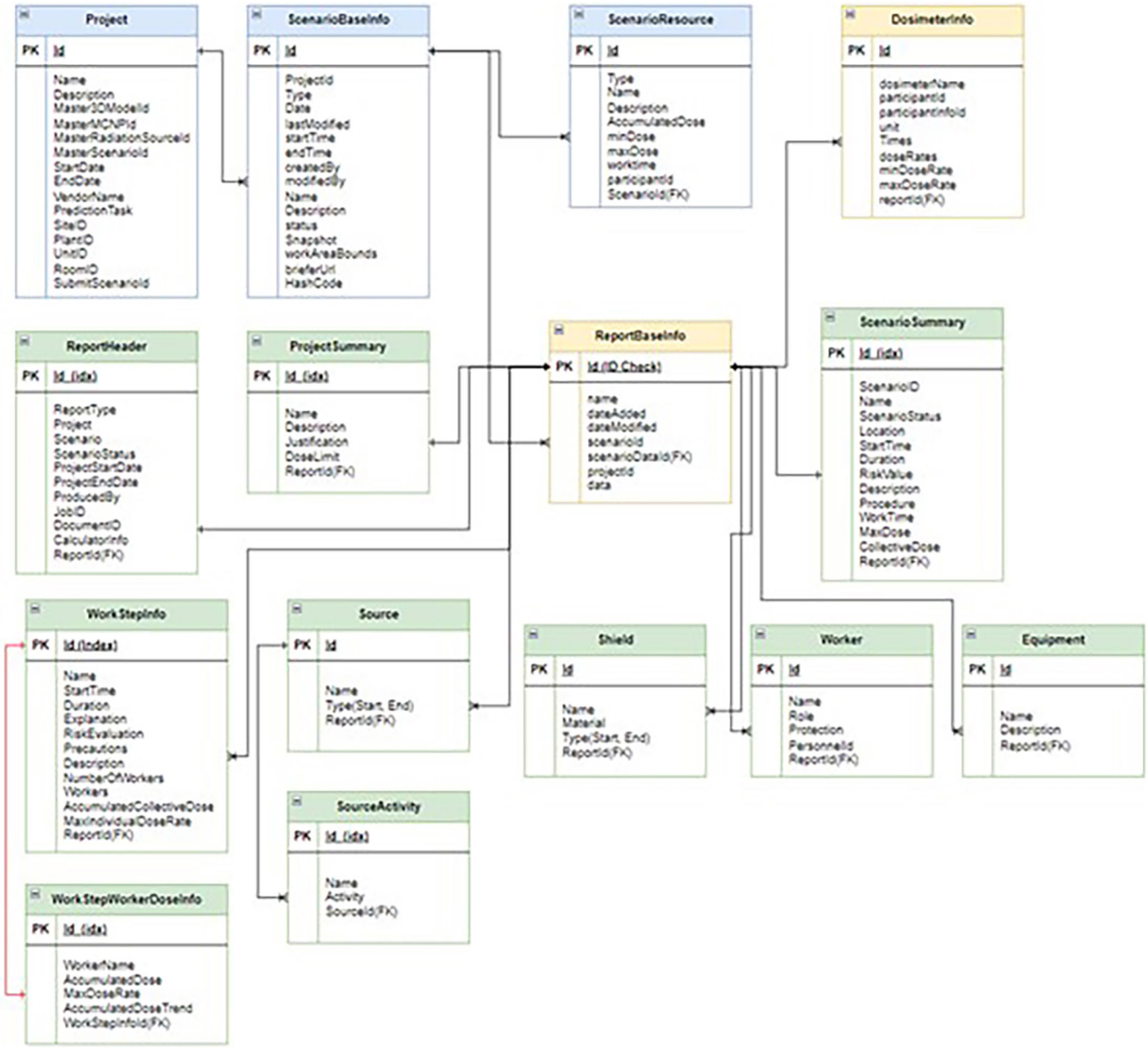

Fig. 6. Data structure relationship diagram of the radiation dose prediction system (partial).

된 형태로 모델링하여 관리시스템 내에 저장할 수 있도록 구성한다. Fig. 6의 데이터 구조 관계도에서 볼 수 있듯이, 선량예측 프로젝트 정보, 작업 공간 모델 정보, 작업 공정 절차, 작업자별 이동 및 행동 정보, 작업자별 선량 예측기록, 장비, 선원항 및 선장 정보, 핵종정보, 방사선 방호물, 예측 결과보고서 등 단위 선량예측 시뮬레이션 작업에 대한 데이터들을 관리시스템 내에서 자체적으로 수집/관리하여 시뮬레이션 기록들 간에 상호 비교 및 검토 등을 수행할 수 있도록 한다. 또한, 3차원 피폭선량 시뮬레이션 프로그램을 사용하는 경우 모델링 및 계산된 작업시간별 작업자 이동 및 행동 정보와 3차원 선장 정보를 바탕으로 3D 가시화 자료를 수집하여 교육 및 계획 검토에 활용할 수 있도록 한다.

3. 결　　과

3.1. 시스템 개발 결과

피폭선량 예측 관리시스템의 통합 데이터 관리시스템은 발전소별 기본 정보를 확인할 수 발전소정보관리, 원자로/증기발생기/기타구역별 방사선 작업에 대한 피폭선량 예측 프로젝트들을 조회할 수 있는 프로젝트 관리, 작업별 공정단계구성/작업자수 및 필요 도구 등을 확인할 수 있는 시나리오 관리, 장비/설비 및 차폐체 등에 대한 3D 모델을 조회할 수 있는 모델 관리, 핵종 및 선량정보를 조회할 수 있는 방사선 관리, 시뮬레이션 결과 그래프 및 방사선맵 등 가시성 향상을 위한 미디어 자료를 조회할 수

있는 시각화 자료 관리, 각 프로젝트별 데이터 사용 이력 및 보고자료 등을 보관 조회할 수 있는 자료 관리 등을 제공할 수 있도록 개발하였다. 또한, 방사선 작업 계획 검토, 작업 전 브리핑, 작업자 교육 등 별도 개발되는 다른 시스템과의 연계를 위해 통합 데이터 관리시스템의 모든 정보 목록 및 데이터 제공을 위한 API를 구성하였다. 국내 공공영역의 표준화 정보시스템 요구사항을 충족시키기 위해 Java Spring 프레임워크를 기반으로 개발하였으며, 표준 웹기술 기반의 활용으로 다양한 시스템과의 유연한 연계가 가능하다. Fig. 7은 개발된 통합 데이터 관리시스템의 기능 화면 중 일부로, 본 시스템과 연계된 여러 시스템들의 소개 및 연계 정보 확인, 관리 대상 원자력 발전소의 3D BIM (Building Information Model) 확인 및 관리, 등록된 MCNP 정보 조회 및 가시화 기능의 화면 예시를 보여주고 있다.

피폭선량 예측 관리시스템은 방사선 방호담당자가 피폭선량 예측 프로젝트를 지시한 후 그 수행 결과를 확인하고 기존 결과들과의 비교 검토를 통해 방사선 방호 최적화 과정을 수행할 수 있도록 개발하였다. 이를 위해 피폭 시뮬레이션 관련 정보의 관리 기능과 더불어, 시뮬레이션 프로젝트 현황 및 업무 진행 단계를 관리할 수 있도록 하였다. 특히, 하나의 시뮬레이션 프로젝트 내에 방사선 작업 조건들을 다르게 구성한 여러 시나리오들을 포함시키고 상황 변화에 따른 영향요소를 효과적으로 파악할 수 있도록 구성하였다. Fig. 8은 개발된 피폭선량 예측 시스템의 기능 화면 중 일부로, 피폭선량 예측 작업의 전체적인 현황 관리, 예측 작업에 필요한 마스터 데이터 관리, 선량예측 프로젝트의 진행상황 및 세부 정보 조회 등의 기능 화면 예시를 보여주고 있다.

Fig. 9는 피폭선량 예측 작업이 완료되었을 때 예측 프로젝트의 결과를 조회하며 세부 검토 작업을 수행하는 과정의 일부 화면 예시를 보여주고 있다. 특히, 선량예측 프로젝트의 세부 공정작업에 관한 내용 및 그에 따른 피폭선량 정보를 확인할 수 있으며, 시간에 따른 작업자의 피폭선량의 추이를 확인하고, 시뮬레이션 시나리오간 비교를 통한 레포트 작성 기능 등 다양한 형태의 선량예측 데이터 검토 및 비교 작업이 지원되는 것을 확인할 수 있다.

또한 3D 피폭선량 예측 시뮬레이션 프로그램의 결과로부터 방사선 작업 시나리오에 따른 3차원 모델 데이터 및 피폭선량 정보를 수집 저장하여 이를 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 10이 3차원 피폭선량 예측 결과는 통합데이터 관리시스템과 연동하여 의사결정위원회의 검토 과정, 현장 방사선 작업 전 작업 설명, 비 숙련자 교육 등을 위해 활용될 수 있다.

4. 고 찰

본 연구에서는 데이터기반 피폭선량 예측 관리시스템의 연계 구조와 이를 바탕으로한 피폭선량 예측 관리 작업 흐름을 구현하였다. 담당자별 역할 및 전문성 차이에 따라 피폭선량 예측 과정의 업무를 구분하였으며, 이에 따라 각 업무 과정의 필요 기능을 제시하고 개발하였다.

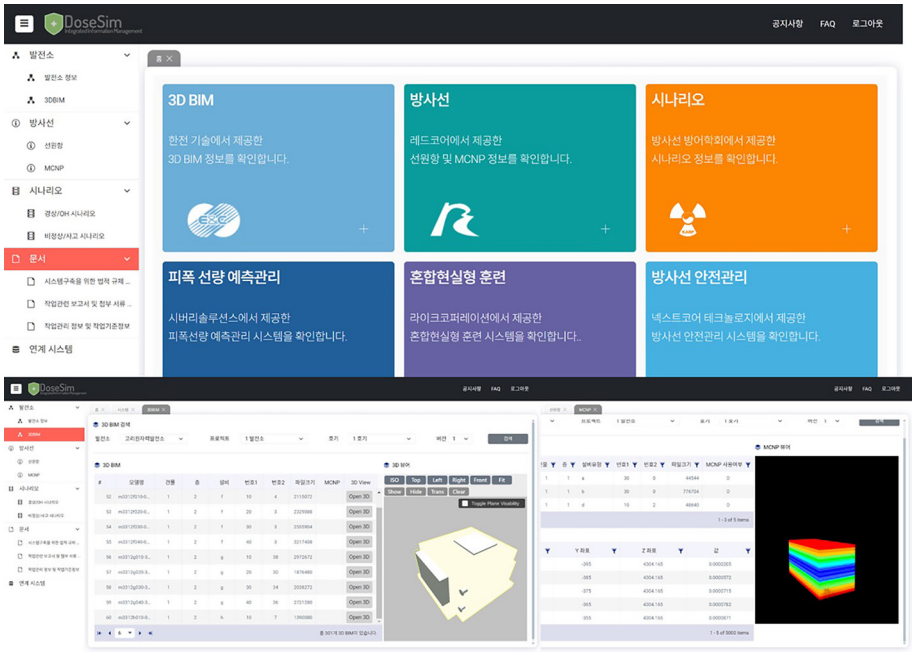

Fig. 7. Development results of the integrated data management system (main screen, 3D BIM management screen, MCNP management screen).

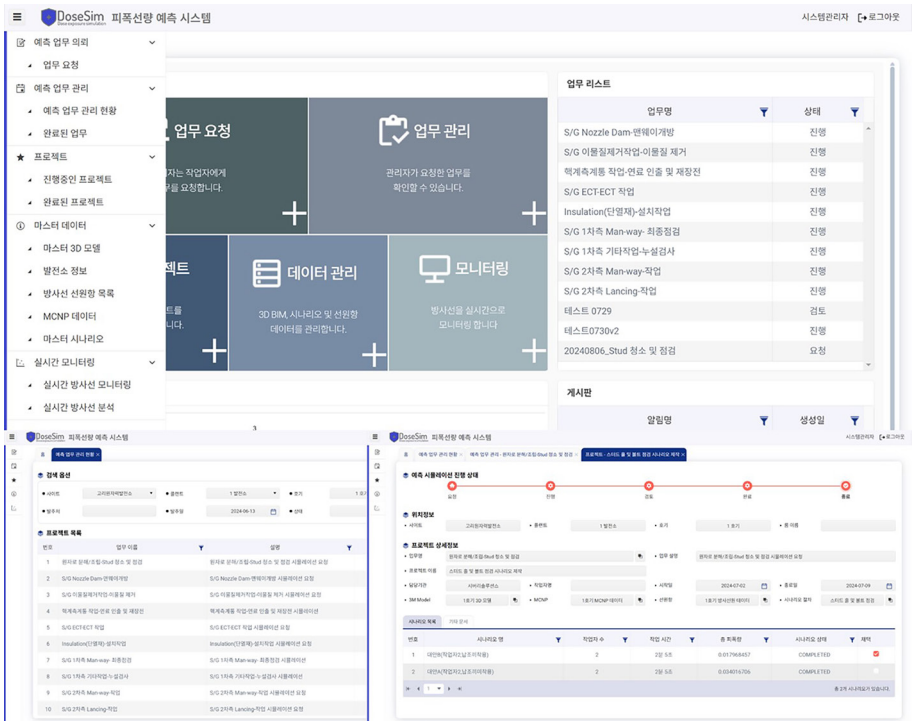

Fig. 8. Development results of the radiation dose prediction system (main screen, prediction project management screen, project progress and scenario management screen).

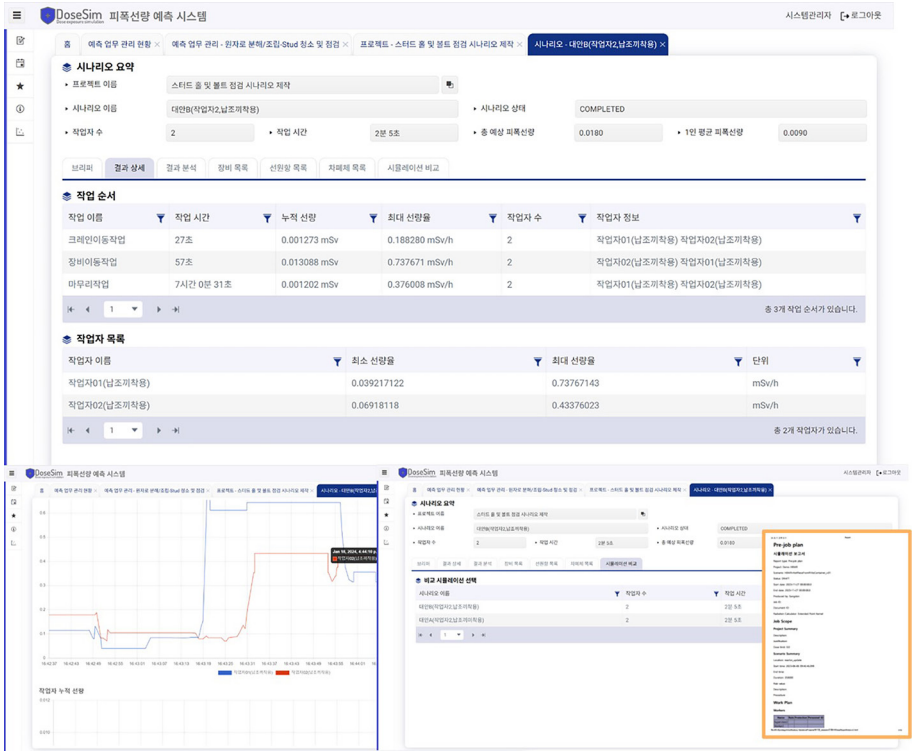

Fig. 9. Review of radiation dose prediction results (detailed results review, time-based dose trends, scenario comparison and reporting).

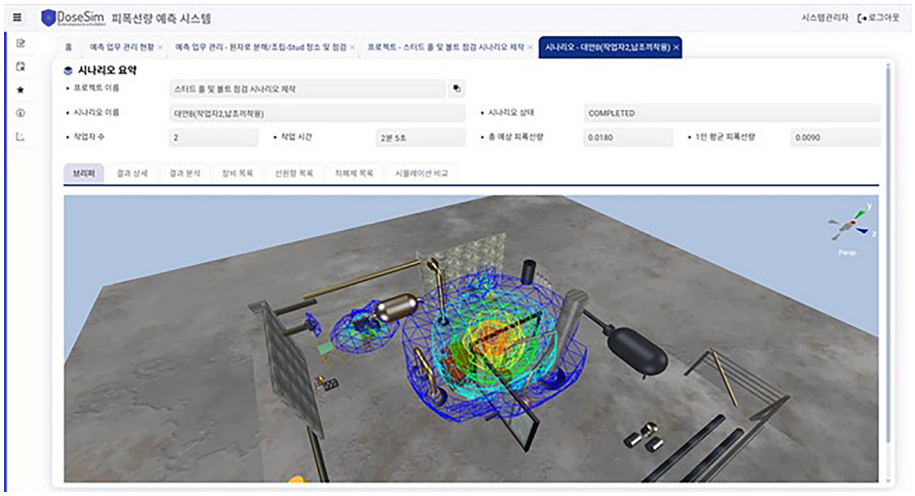

Fig. 10. 3D visualization of radiation dose prediction results.

피폭선량 예측 및 관리에 필요한 데이터를 모두 수집, 저장하고 제공할 수 있는 통합 데이터 관리시스템을 개발하였으며, 이를 통해 관리되는 데이터들의 다양한 활용을 위해 연계 시스템에 제공할 수 있는 인터페이스를 개발하였다. 원자력발전소의 기본 정보 및 3D BIM모델 정보, 경상 정비 작업 절차 정보, 핵종 및 선량 정보 등을 기본 구축하여 피폭선량 예측 시스템에 제공할 수 있도록 하였으며, 피폭선량 예측 결과 정보를 예측 시스템으로부터 제공받아 저장하고 이를 타 시스템에 제공할 수 있도록 하였다. 이를 통해 피폭선량 예측 및 평가 업무와 관련한 데이터 순환 구조를 구성할 수 있으며, 개발 시스템의 사용 기간이 늘어감에 따라 축적되는 데이터를 기반으로 새로운 서비스 생성 및 기존 기능의 고도화를 추진할 수 있는 기반을 마련하였다.

특히, 개발된 시스템이 특정 피폭선량 예측 알고리즘이나 시뮬레이션 툴에 의존하지 않고, 피폭선량 예측 프로젝트에 대한 정보를 관리시스템 내에서 관리하도록 개발되어 있으므로, 다양한 피폭선량 예측 알고리즘 및 시뮬레이션 툴을 선택적으로 사용할 수 있는 가능성을 제공하고 있다. 이를 활용하여 방사선 방호담당자는 다양한 알고리즘에 따른 예측 결과를 상호 비교할 수 있으며, 이러한 알고리즘 및 시뮬레이션 툴의 특성을 활용하여 방사선 방호최적화를 위한 전략적 접근을 수행할 수 있다.

또한, 단일 프로젝트 내 시나리오 간 비교·검토를 바탕으로 이전 프로젝트 결과와의 비교를 수행함으로써, 선량 예측 시뮬레이션의 품질을 검증하고 방사선 방호 효과를 향상시킬 수 있다.

본 개발과정에서 연계한 피폭선량 예측 시뮬레이션 툴은 3차원 선량 모델링을 지원하고 있으며, 이 3차원 시뮬레이션 결과를 수집하여 통합 데이터 관리시스템에 가공/저장하여 타 연동 서비스에 제공할 수 있다. ALARA 위원회의 방사선 작업 검토를 위한 동영상 자료 생성, 현장작업자에 대한 방사선 작업 전 브리핑을 위한 3D 모델링 정보 제공, 오프사이트 3D교육 컨텐츠 생성에 참고할 수 있는 선장 데이터 등 연동 서비스의 기능 및 목적에 맞춰 가공된 데이터를 제공할 수 있는 기능 구조를 개발하였다.

현재 개발 시스템의 기능 평가에 사용된 데이터는 원자력발전소의 특정 정비작업에 국한된 연구용 데이터 수준으로, 개발 기능의 유용성을 평가하기 위한 수준의 데이터이다. 기능의 유용성을 넘어 평가 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실제 현장의 핵종 및 선장측정/분석 정보를 바탕으로 실제 방사선 작업 전후의 피폭선량 측정과 방사선 작업과정에 대한 세세한 기록을 확보하여야 한다. 이를 바탕으로 피폭선량 예측 최적화 방식의 적절성과 예측 정확성을 평가할 수 있을 것이다.

5. 결　　론

본 연구에서는 방사선작업종사자의 안전을 증대하기 위해 피폭선량 예측 관리시스템(DoseSim)을 설계하고 개발하였다. 이 시스템은 방사선 환경에서 작업자의 피폭선량을 효과적으로 예측하고 관리할 수 있도록 통합 데이터 관리와 예측 기능을 지원하며, ALARA 원칙을 구현하는 데 중점을 두고 있다.

개발된 시스템은 다양한 방사선 작업 환경에서의 시뮬레이션 데이터와 작업 기록을 체계적으로 수집, 분석, 저장하며, 이를 통해 작업자 간의 피폭선량 편차를 줄이고 방사선 방호 최적화를 위한 과학적 근거를 제공할 수 있다. 특히, 3D 모델링과 시뮬레이션 결과의 가시화 기능을 통해 방사선 작업 계획 및 교육, 방사선 방호 전략 수립에서 실질적인 지원을 가능하게 한다.

본 연구의 성과는 방사선작업종사자의 안전을 강화하고 방사선 관리의 효율성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다. 그러나 시스템의 실제 현장 적용과 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서는 추가적인 현장 데이터 수집 및 분석이 필요하며, 이는 향후

연구에서 중점적으로 다룰 계획이다.

또한, 현재 개발된 시스템에 제시하는 피폭선량 예측 작업의 업무 흐름이 원자력발전소 작업담당자의 기존 업무 처리 과정과 상이하기에 현 시점에서 개발 시스템의 업무 활용성에 대한 직접적인 평가는 현실적인 한계가 있다. 하지만, 본 개발 시스템의 지속적인 고도화 및 관련 연구 성과와의 연계가 진행되는 시점에는 원자력발전소 작업담당자의 시범사용을 통해 시스템의 사용성 평가에 대한 직접적인 평가가 이루어질 수 있을 것으로 기대한다.

원자력발전소 뿐만 아니라 방사능을 취급하는 다양한 현장에서는 지속적인 방사선 방호관리 및 개선작업이 필요하다. 현재 관련 연구자들이 진행하고 있는 방사선 방호 관련 연구 성과들과 함께, 본 시스템이 방사선 작업 환경의 방사선 방호최적화를 위해 광범위하게 활용될 수 있는 유용한 도구로 기여할 수 있기를 희망한다.

사 사

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20224B10300090, ALARA 분석평가 프로그램 및 3D-BIM 기반 실감몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 기술개발).

참고문헌

1. National Assembly of the Republic of Korea. 2024. *Nuclear Safety Act*, Article 91, Clause 1-4. https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2&section=lawNm&query=20240213%2C20308%2C20240213&x=0&y=0#EJ91:0.
2. Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. 2021. *Annual Report on Radiation Management in Nuclear Power Plants*, General Technical Publication, 2021-50207525-JEONG-0578.
3. Chang Ju Song. 2024. *A Study on the Analysis of Dominant Radiation Exposure Work in Korean Nuclear Power Plants*, Graduate School of Chosun University, Department of Nuclear Engineering, Master's Thesis.
4. International Commission on Radiological Protection. 2007. *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP, 37(2-4). https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003.
5. International Commission on Radiological Protection. 2006. *The optimization of radiological protection: Broadening the process*. ICRP Publication 101. Annals of the ICRP, 36(3). https://doi.org/10.1016/j.icrp.2006.06.003.
6. Ju Young Kim, Min Seong Kim, Ji Woo Kim and Kwang Pyo Kim. 2023. *Development of Radiation Dose Assessment Algorithm for Arbitrary Geometry Radiation Source Based on Point-kernel Method*. *Journal of Radiation Industry* **17**(3):275-282. https://doi.org/10.23042/radin.2023.17.3.275.
7. Szőke I, Louka MN, Bryntesen TR, Edvardsen ST and Bratteli J. 2014. *Comprehensive support for nuclear decommissioning based on 3D simulation and advanced user interface technologies*. *Journal of Nuclear Science and Technology* **52**(3):371-387. https://doi.org/10.1080/00223131.2014.951704.
8. Szoeke Istvan and Johnsen Terje. 2013. *Human-centred radiological software techniques supporting improved nuclear safety*. International Electronic *Journal of Nuclear Safety and Simulation* **4**(3):219-225. https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=46134507.