

Development of the Safety Case Program for the Wolsong Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facility in Korea

중·저준위 방사성폐기물 처분시설을 위한 Safety Case 종합프로그램의 개발

Jin Beak Park^{1*}, Jong Tae Jeong², and Joo-Wan Park¹

¹Korea Radioactive Waste Agency, 111 Daedeok-daero 989, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea

²Korea Atomic Energy Research Institute, 111 Daedeok-daero 989, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea

박진백^{1*}, 정종태², 박주완¹

¹한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

(Received November 6, 2014 / Revised December 16, 2014 / Approved December 22, 2014)

The safety case program has been prepared for the development of the disposal facility of low- and intermediate-level radioactive waste in Korea. For the development of the radioactive waste disposal facility, this program can be applied for the safety demonstration of the facility and for the safety judgment of development step based on the international standards and domestic development environment. Systematic safety approach of this program includes the safety strategies such as optimization, robustness, demonstrability and defense-in-depth principle which are based on the safety principle and objectives. From the quality of assessment basis, safety arguments focused on the uncertainty management and the confidence building can assure the disposal safety during the step-wise safety assessment.

Keywords: Low- and intermediate-level radioactive waste, Disposal facility, Step-wise development, Uncertainty management, Confidence building

*Corresponding Author.

Jin Beak Park, Korea Radioactive Waste Agency, E-mail: jbpark@korad.or.kr, Tel: +82-42-601-5322

ORCID

Jin Beak Park <http://orcid.org/0000-0003-3050-2565>

Jong Tae Jeong <http://orcid.org/0000-0001-7802-9370>

Joo-Wan Park <http://orcid.org/0000-0003-4869-5916>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

우리나라 중·저준위 방사성폐기물의 처분시설개발을 위해 Safety Case 종합프로그램을 구축하였다. Safety Case 종합프로그램은 단계별 처분시설 종합개발을 위한 안전성판단과 계획수립을 목적으로 IAEA 등 국제기준을 참고하여 국내 환경에 적합하도록 구축하였다. 처분시설 종합안전성 확보체계는 최적화전략, 강건성전략, 논증가능성전략 및 심층방어전략에 따라 안전목표와 안전원칙을 만족하도록 구성하였다. 처분시설의 안전성은 평가기반의 품질에 따라 불확실성 저감을 위한 단계별 안전성평가와 안전성 수준의 확인 및 의사결정판단을 위한 다양한 신뢰성증진을 통해서 확보하도록 하였다.

중심단어: 중저준위방사성폐기물, 처분시설, 단계별 개발, 불확실성관리, 신뢰성증진

1. 서론

우리나라에서 발생된 중·저준위 방사성폐기물은 한국 원자력환경공단의 환경관리센터(이하 “처분시설”)에서 관리된다. 처분시설의 부지는 2005년에 확보하고 2008년 7월부터 건설을 시작하여 2015년부터 운영할 계획이다. 본 논문은 공단의 처분시설개발을 위한 Safety Case 종합프로그램에 대하여 소개하고자 한다.

1.1 처분시설 안전성평가의 현황

우리나라 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 안전성평가는 건설 및 운영허가를 위해 계획단계(또는 허가단계)에 최초로 수행되었다. 이러한 처분시설의 계획단계 안전성평가는 건설 및 운영 동시 허가임을 고려하여 허가기준의 만족여부와 국내 최초로 건설된 처분시설의 특성을 고려한 지속적인 안전성 증진계획을 포함하여 한정된 정보와 불확실성 하에서 처분시설이 폐쇄 후 성능목표를 충족할 수 있음을 확인하고 향후 처분시설 Safety Case의 지속적 발전을 통해 궁극적으로 안전하게 구축될 수 있으므로 전체 처분시설 개발의 기반에 대한 동의가 이루어졌다.

계획단계 안전성평가에 대한 향후 계획으로 안전성구성의 전략강화와 안전성평가의 통합적 역할을 통한 시스템 잠재력 발굴 그리고 처분방식별 장단점 재평가 후, 후속처분시설 개발에 반영하기 위한 노력을 강조하였다.

1.2 Safety Case 개발의 목적

본 Safety Case 종합프로그램은 이러한 우리나라 처분

시설의 계획단계 안전성평가에 대한 지속적 발전과 안전성평가 문맥에서 향후 처분시설 개발에 고려되어야 하는 철학을 포함한 실제적인 내용을 구성하고자 하였다.

Safety Case는 처분시설 개발의 문맥에서 다양하고 합리적인 안전논거에 기초하여 시설의 안전성을 판단하고 처분시설 개발계획 수립에 활용하는 것을 목적으로 한다. 처분시설의 Safety Case 종합프로그램은 원자력안전법[1]에 명시된 우리나라에서 발생한 중·저준위 방사성폐기물로부터 국민의 건강 및 환경상의 방사선 위험을 단기 및 장기간 방지한다는 안전원칙에 대한 이행계획이며, 전체 처분시설의 단계별 개발에 대한 안전성 판단과 계획수립을 통한 종합안전성확보를 목적으로 한다. 따라서 처분시설의 Safety Case 종합프로그램은 전체 처분시설의 개발 및 운영행위에 우선하며 전체 처분시설의 단계별 개발에 대한 종합안전성 확보업무에 적용된다.

1.3 Safety Case의 정의 및 적용기준

IAEA Safety Glossary[2]에서는 처분시설의 Safety Case를 처분시설 이해를 목적으로 안전성평가에 의해 도출된 정보와 이에 대한 신뢰성 기술내용 등 처분시설 안전성을 뒷받침하는 논거와 근거들의 총화로 정의하고 있다. IAEA[3]에서는 처분시설의 안전을 뒷받침하는 과학적, 기술적, 제도적 논거와 근거들의 총화로서 처분시설의 부적합성에서부터 처분시설의 설계-건설-운영, 방사선 위험평가 그리고 처분시설 안전관련 모든 행위의 적합성과 품질보증이 포함된다고 정의하고 있다. 공단 처분시설의 Safety Case는 이러한 IAEA[2-3]의 정의를 따르며, IAEA[4-5]의 요건들과 IAEA[3]의 기준들에 근거하여 개발되었다.

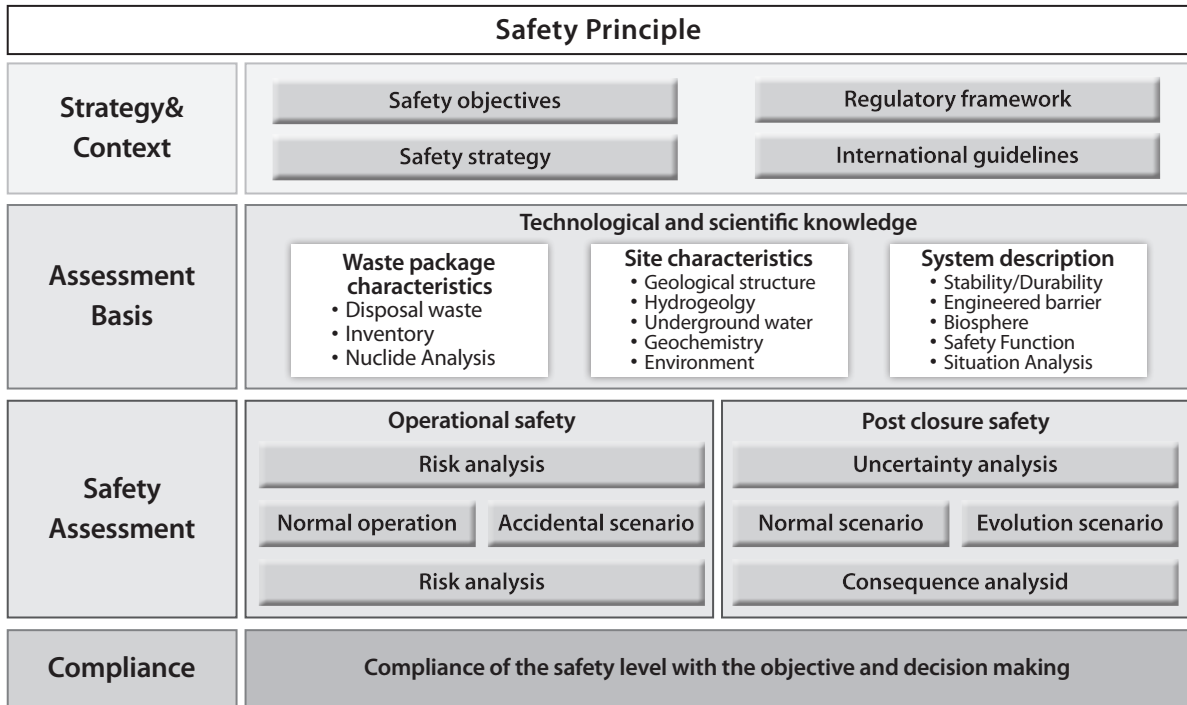


Fig. 1. Safety approach of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

2. 처분시설 안전성확보체계

처분시설 안전원칙을 위한 안전성확보체계는 전략 및 개요, 평가기반, 안전성평가 및 안전확인 항목을 이용하여 Fig. 1과 같이 구성된다.

2.1 안전원칙

처분시설은 원자력안전법[1] 제64조 제3호와 동법 시행령 제174조 제2호에 따라 우리나라에서 발생한 중·저준위 방사성폐기물로부터 국민의 건강 및 환경상의 방사선 위험을 단기 및 장기간 방지한다는 안전원칙을 적용한다. 안전원칙에서 사용된 단기 동안 방사선 위험방지는 처분시설 운영기간과 폐쇄 후 제도적 관리기간을 의미하고, 장기간 동안 방사선 위험방지는 처분시설 제도적 관리기간 이후를 의미한다.

2.2 전략 및 개요

처분시설 안전성확보체계의 전략 및 개요는 상위개념인 ‘안전원칙’에 따른 안전목표, 안전전략, 국내규제기준 및 국제기준을 포함한다.

2.2.1 안전목표

처분시설은 안전원칙의 준수, 성능목표의 만족 그리고 안전성 최적화를 안전목표로 한다. 즉, 원자력안전법[1] 제64조 제3호와 IAEA[5]에 따른 안전원칙에 따라 처분시설의 부지선정, 설계, 건설, 운영 및 폐쇄를 목표로 한다.

처분시설의 성능목표로서 원자력안전위원회 고시[6] 제6조(성능목표치)에 따라 먼 미래에 국민건강에 미치는 방사선 피폭선량과 위험도가 처분시설 성능목표를 초과하지 않는다는 근거제시를 목표로 한다. 마지막으로 국민건강 및 환경상의 방사선 위험방지를 위한 처분시설의 안전성최적화를 목표로 포함한다. 안전성최적화는 처분시설 안전성의 핵심요소이며 사회 및 경제적 요인을 포함한 판단의 과정으로 안전성확보체계의 안전전략에 따라 반복적인 과정을

통하여 달성되는 것을 의미한다. 처분시설의 안전성최적화는 정성적 방법으로 수행되지만 정량적 방법으로 구체화되어야 한다.

2.2.2 안전전략

처분시설의 안전전략으로 Fig. 2와 같이 최적화전략, 강건성전략, 논증가능성전략, 심층방어전략을 적용하며, 이들은 서로 독립적이지 않으며 처분시설에 대한 기술적 활동(Engineering activity)과 관리활동(managerial activity)에 의해

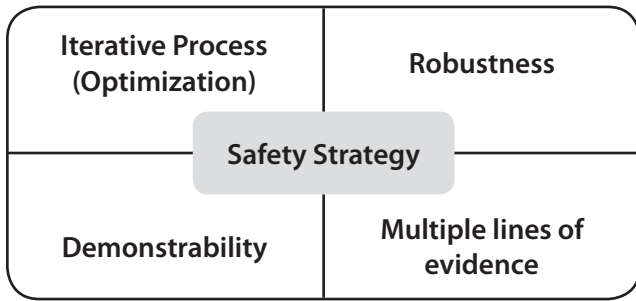
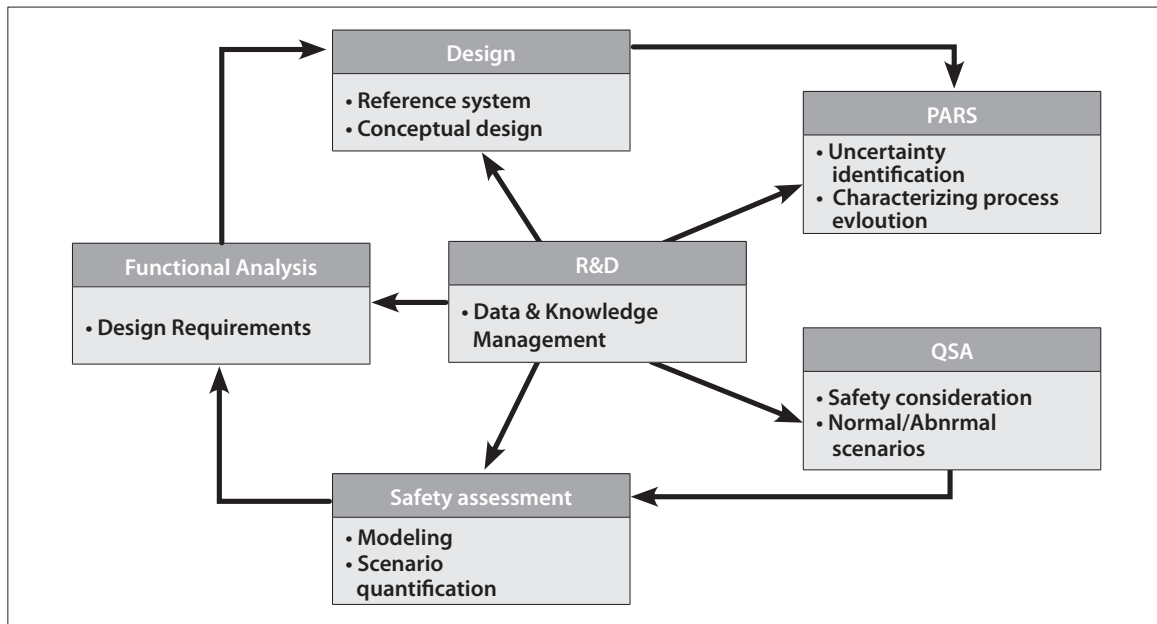


Fig. 2. Safety strategy of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

상호보완되어야 한다. 처분시설 개발을 위한 기술적 활동은 새로운 정보와 기술적 발전을 수용할 수 있는 유연성을 가지며, 관리활동은 처분시설의 기술적 활동을 바탕으로 강건성 구현과 불확실성 저감을 달성하여야 한다.

처분시설의 최적화 전략은 Fig. 3과 같이 안전기능분석-설계-현상분석-정성적 안전성분석-안전성평가에 대한 처분시설 개발과정의 반복수행과 평가기반 구축 및 갱신을 통해 지속적으로 보완하는 특성을 가진다.

처분시설의 강건성전략은 시스템 개별 구성요소들이 예측 가능한 외적 장애요인과 불확실성에도 불구하고, 안전기능을 유지하여 전체 처분시설에 요구된 안전목표가 달성된다는 개념이다. 처분시설의 폐쇄 후 안전성은 처분시설 구성요소들의 수동적 안전성에 근거하며, 수동적 안전성은 강건성전략과 논증가능전략을 통하여 보완된다. 처분시설의 폐쇄 후 성능목표에 대한 처분시설 강건성은 안전성평가 결과로 제시되며 심층방어전략 논거로 보완한다. 안전성평가의 강건성은 안전성평가의 기술적 논거에 대한 수준에 근거하며, 기술적 논거에는 처분시설 안전개념, 입력데이터, 평가모델, 분석결과 그리고 기술적 논거들의 통합과 논증가능에 대한 품질행위를 포함한다.



*PARS: Phenomenological Analysis of Repository Situations
*QSA: Qualitative Safety Analysis

Fig. 3. Safety optimization strategy of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

처분시설 개발에 대한 논증가능전략은 Fig. 4와 같이 1) 다양한 이해관계자를 대상으로 안전현안에 대한 결과를 도출해 낸 논리, 계산 및 그 외 평가과정을 추적할 수 있는 투명성(Transparency), 2) 안전성확인에 적용된 입력데이터, 가정 및 평가결과를 포함한 평가기반에 대한 내용제시가 가능하고 합리적 추론에 대한 추적가능성(Traceability), 3) 처분안전성에 대한 질의응답과 토론을 포함한 개방성(Openness), 4) 안전논거에 대한 평가결과를 재생산할 수 있는 재현성(Reproducibility), 그리고 5) 내외부 독립검토(Internal

and External Peer Review)를 포함한다.

처분시설의 심층방어전략은 Fig. 5와 같이 처분시설의 물리적 다중방벽과 비정상 사건들을 관리할 수 있는 제도적 행위를 포함한다. 심층방어전략은 처분시설의 정상운영, 예측된 운영상황 그리고 사고 시 방사성물질과 작업자, 지역주민 또는 환경 사이에 위치하는 물리적 방벽의 유효성을 유지하기 위해 다양한 장치와 절차를 단계적으로 배치하는 것을 의미한다. 심층방어전략에 따라 처분시설 안전기능은 주요 구성기기 중 동일한 안전기능을 가지거나 보완기능을 가지도록 구성한다. 한 개의 안전기능 상실 또는 안전행위 미이행이 안전목표 달성을 어렵게 하는 것이 아니라 다른 안전기능 또는 안전행위로 인해 안전목표를 달성하는 개념이다.

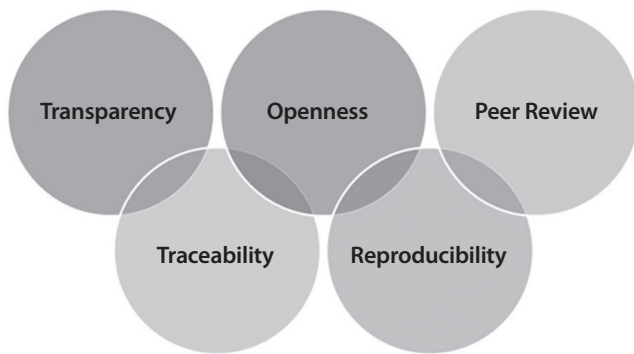


Fig. 4. Demonstrability strategy of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

2.2.3 국내 규제기준 및 국제기준

처분시설개발에 적용되는 국내 원자력안전위원회 고시는 Table 1과 같으며, 국제기준은 IAEA에 의해 안전원칙[4], 처분시설 안전요건[5] 및 처분시설 Safety Case 지침[3,7]을 적용한다.

2.3 평가기반

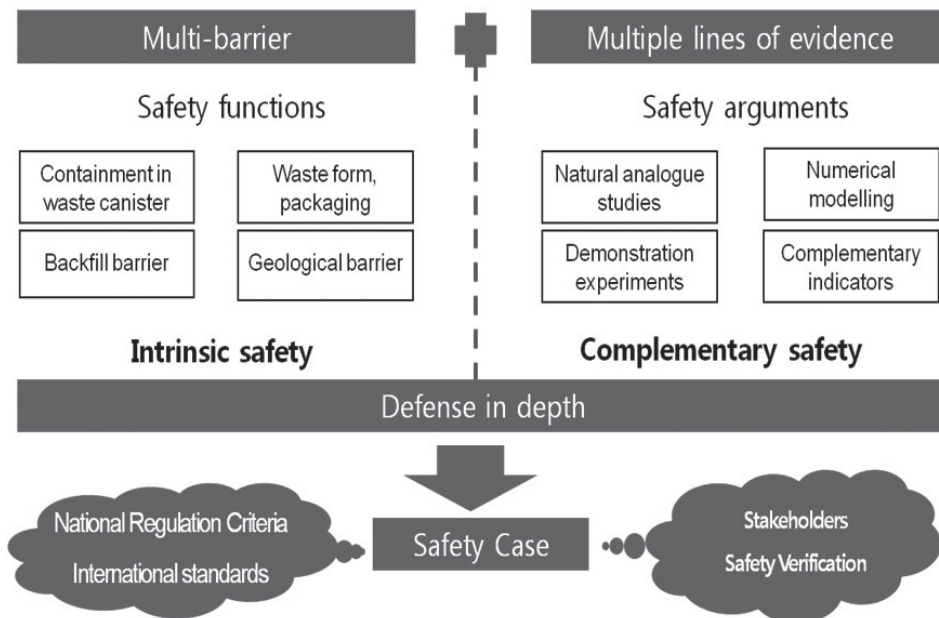


Fig. 5. Defense-in-depth strategy of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

Table 1. Korean regulatory guidelines for the radioactive waste disposal facility [6,8-19]

Number	Title of regulatory guideline
2014-11	The NSSC Notice No. 2014-11, Standard Format and Content of Radiation Environmental Report for Nuclear Power Utilization Facilities.
2014-34	The NSSC Notice No. 2014-34, Regulation on Radiation Protection.
2014-17	The NSSC Notice No. 2014-17, Regulation on Reporting and Public Announcement of Accidents and Incidents for Nuclear Power Utilization Facilities.
2014-53	The NSSC Notice No. 2014-53, Standards for the Structure and Equipment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Near-Surface Disposal Facilities.
2014-54	The NSSC Notice No. 2014-54, Acceptance Criteria for Low and Intermediate Level Radioactive Waste.
2014-55	The NSSC Notice No. 2014-55, Quality Assurance Standards for Radioactive Waste Management Facilities.
2014-56	The NSSC Notice No. 2014-56, Radiological Protection Criteria for Long-term Safety on Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal.
2014-57	The NSSC Notice No. 2014-57, Guidelines for the Preparation of Site Characteristic Report for Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities.
2014-61	The NSSC Notice No. 2014-61, Regulation for the Inspection on Transport cask of Radioactive material
2014-62	The NSSC Notice No. 2014-62, Technical Standards for the Structure and Equipment of Radioactive Waste Treatment Facilities.
2014-63	The NSSC Notice No. 2014-63, Technical Standards for the Operation, Etc. of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities.
2014-64	The NSSC Notice No. 2014-64, Guidelines for Preparation of Safety Analysis Report for Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities.
2014-65	The NSSC Notice No. 2014-65, Regulations for the Inspection on Disposal of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste.

처분시설 안전성확보체계의 평가기반은 처분시설 개발을 뒷받침하는 기술 및 과학적 지식을 지속적으로 생산, 관리 및 공급하는 역할을 한다. 이는 처분시설의 장기 거동의 이해 및 예측을 위한 기초분야에 해당하며, 방사성폐기물 특성, 부지특성 그리고 처분시스템특성에 대한 기술 및 과학적 지식들로 구성하였다. 또한, 단계별로 확인된 불확실성 항목에 대하여 입력데이터 관리, 처분시스템 이해증진 활동, 연구개발 및 외부기관과 협력을 통한 위탁/용역의 방법을 통해 구축함을 원칙으로 한다.

방사성폐기물특성에는 처분대상 폐기물, 핵종재고량 및 처분시설의 인수운영에 사용되는 핵종분석이 포함된다. 방사성폐기물 포장특성 입력데이터, 핵종재고량 평가체계 및 핵종분석장치와 연동된 처분시설 운영환경 변경 및 주기적 재평가에 대비할 수 있는 평가기반 구축을 목적으로 한다.

처분부지특성은 지질구조, 수리지질/지하수, 지구화학 그리고 부지환경에 대한 평가기반을 구성요소로 한다. 부지 특성 평가기반은 개별 구성요소에 대한 입력자료 확보와 확보된 자료에 근거한 재평가 및 보완을 통해 구축하며, 부지 특성모델의 재평가 및 보완은 관련법령 및 규제기준에 의하여 해당 평가를 수행하여야 하는 시점에 제시하는 것을 원칙으로 한다. 처분시스템특성은 시설의 구조/내구성, 공학적방벽, 생태계 및 구성기기의 안전기능 및 현상분석을 통해 확보된 과학적 지식이 해당된다. 처분시스템의 장기거동예측을 위해 처분환경을 반영한 장기실증시설을 활용하여 주기적 데이터를 확보하며, 처분시스템 개발방법론은 IAEA[20] 방법론과 IAEA[3] 및 NEA[21]의 방법론을 추가로 적용한다. 또한, 처분시스템은 동일부지에 다양한 처분방식이 다른 시점에 개발되는 것을 고려할 때 단계별로 적용방법을 구분하며, 후속 처분시설에 대해서는 IAEA[3] 및 NEA[21]의 방법적용을 원칙으로 하고 IAEA[20]방법을 참고한다.

2.4 안전성평가

처분시설 안전성확보체계의 안전성평가는 처분시설 안전성최적화와 불확실성 저감을 위한 건설, 운영 및 폐쇄 후 시나리오 설정과 이에 대한 영향분석을 포함한다. 특히, 안전성평가는 처분시설의 단계별 안전성 확인과 폐쇄 후 처분시설 불확실성 관리내용 및 최적화를 위한 다양한 논거들을 포함한다.

처분시설 폐쇄 후 안전성평가의 접근법은 IAEA[3,20] 및 NEA[21]에 기초하며 안전성확보전략에 따라 단계적(step-wise)이며 체계적(systematic)으로 기술하는 것을 원칙으로 한다. 처분시설의 안전성은 안전기능분석, 현상분석 및 정성적안전성분석 단계를 포함하여 운영 중 및 폐쇄 후 단계에 대하여 평가한다. 처분시설의 운영 안전성은 구성기기의 능동적 제어수단들이 확보되어야 하며, 폐쇄 후 장기안전성은 능동적 제어수단들을 최소화하고 수동적 안전성에 의해 보장되어야 한다. 처분시설의 안전성평가는 정상운영, 예상되는

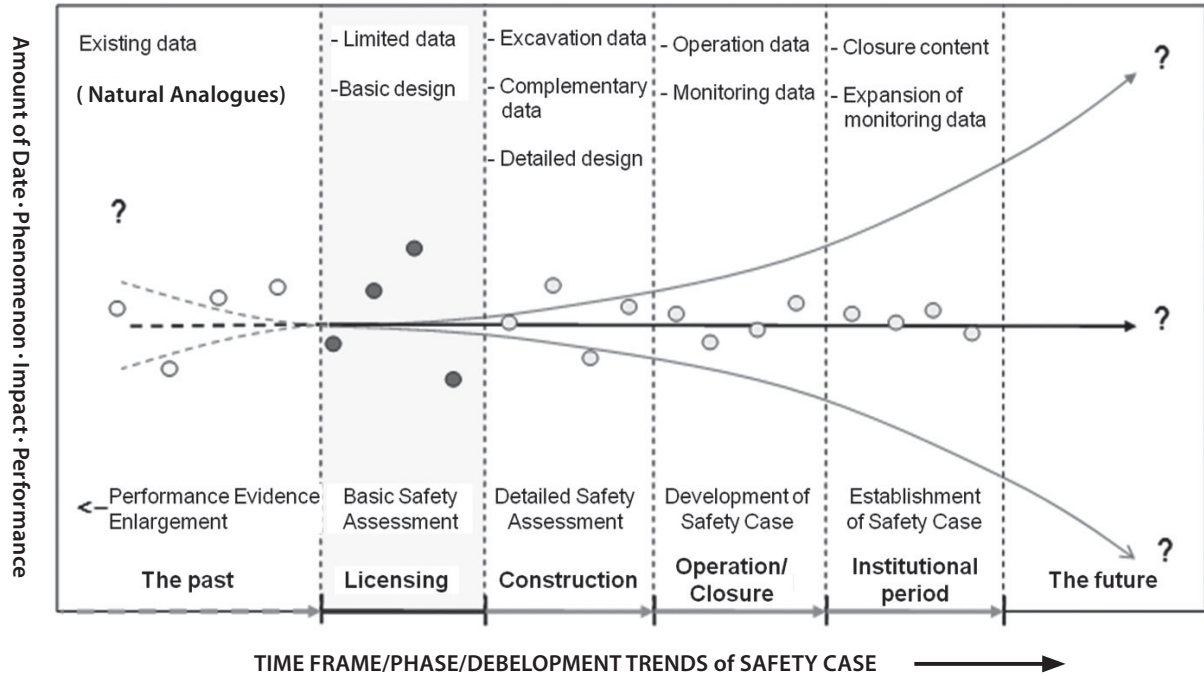


Fig. 6. Step-wise safety assessment of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

사건 및 사고조건으로부터 처분시설이 허용 가능한 수준으로 방사선 위험을 제어하기 위한 장단기조치가 이행되었는지에 대한 판단근거를 제시한다. 폐쇄 후 안전성평가 시나리오는 처분시설과 주변 환경의 발생 가능한 진화를 나타내며, 처분시설로부터의 방사성물질의 잠재적 이동 및 환경으로의 이동과 그 결과로 초래된 방사선 위험은 개념적 또는 수학적 모델을 통해 정량적으로 분석한다. 처분시설의 안전성평가 갱신은 시설 또는 활동에 의한 방사선 위험의 범위와 관련되며 규제요건에 정해진 주기에 따라 갱신한다.

2.5 안전확인

처분시설의 안전성확보체계의 안전확인은 안전목표에 대한 안전성 수준확인 및 단계별 의사결정에 대한 판단근거들을 포함한다. 처분시설 개발과정에서 도출된 불확실성 항목의 특성을 파악하고 안전성평가 문맥에서 해당 불확실성의 안전성관련여부를 확인한다. 처분시설의 Safety Case는 시설의 안전에 영향을 미치는 모든 작업 및 활동 그리고 시설에 처분될 폐기물에 적용되는 제한, 제어 및 조건 수립을

지원하기 위해 사용된다.

3. 단계별 안전성평가

처분시설의 개발은 IAEA[5,7]과 원자력안전위원회 고시[17] 제5조(안전성평가의 갱신)에 따라 단계별 접근을 원칙으로 한다. Fig. 6에서 제시한 바와 같이 처분시설은 단계별 허가 이후에도 안전성확인을 위해 먼 미래로 외삽하기 위한 활동을 지속하며 단계별 특성화와 전체 단계에 걸쳐 지속적으로 개발 및 발전하는 것을 원칙으로 한다. 단계별 Safety Case 및 안전성평가의 목적, 범위 및 개발 단계로 인한 위험도 수준은 방사선 위험도의 크기와 시설의 완성도 및 복잡성을 고려한다.

처분시설의 안전성평가를 위한 입력데이터는 기초분야 평가기반의 수준에 따르며, Safety Case 단계별 입력데이터의 유효성 확인은 현장조사/실험데이터 및 이를 활용한 모델링결과를 우선으로 하며, 현장조사/실험데이터가 없는 경우 문헌조사결과를 이용하여 보완한다.

3.1 계획단계 안전성평가

처분시설 계획단계는 허가를 목적으로 건설, 운영 및 폐쇄 후 기간에 대한 안전성평가를 수행하며, 허가를 위한 기초를 제공하고 연구개발과 부지 선정, 평가 및 설계를 위해 수행한다. 처분시설의 계획단계 Safety Case는 안전성확보 개념설정, 부지선정, 안전성에 대한 입증 또는 설계 최적화를 포함한다.

3.2 건설단계 안전성평가

처분시설의 건설에 따른 방사선적 안전성을 평가하며 건설 중 방사선피폭을 유발하는 방사선원 및 행위가 처분시설 내에서 존재하지 않는 경우는 부지인근에 거주하는 주민에 대한 평가는 수행하지 않는다. 처분시설 건설 시 부지인근 원자력시설로부터 건설작업자가 받는 피폭선량과 건설 중 인수저장건물로의 폐기물 반입에 따른 직접피폭선량을 포함하여 운영 중 정상조건을 고려하여 평가한다. 건설단계 Safety Case는 건설단계에서 확보된 자료와 정보에 기초한 상세안전성평가를 통하여 건설단계 안전논거 제시, 연구개발 프로그램에 의해 확인된 불확실성 저감과 미해결사항의 확인을 통한 향후 Safety Case 개발방안의 제시 또는 처분될 수 있는 최대 재고량의 평가(시설의 방사선적 용량)를 포함한다.

3.3 운영단계 안전성평가

처분시설의 운영 중 안전성평가는 정상조건과 사고조건에 대한 안전성평가로 구분하여 수행한다. 운영 중 정상조건 안전성평가는 처분시설 운영과 관련된 설계사항 및 운영절차를 고려하여 정상조건 시나리오를 수립하고 방사선원, 피폭경로, 평가기간 등을 분석하여 보수적인 평가모델 및 입력데이터를 선택하여 방사선피폭 영향평가를 수행한다.

운영 중 사고조건 안전성평가는 처분시설의 설계특성을 고려한 잠재위험분석을 수행하여 고 위험군 사건들에 대한 사고시나리오를 수립한다. 운영 중 사고 시 방사성물질의 누출로 인한 제한구역경계에서 일반인에 대한 피폭선량을 평가한다. 직접피폭 및 방사능 운에 의한 외부피폭 및 호흡에 의한 내부피폭 등으로 구분하여 평가하고 운영 중 성능목표치와 비교하여 안전성 논거를 제시한다.

3.4 폐쇄 후 안전성평가

폐쇄 후 방사선적 안전성평가는 처분시설 Safety Case의 핵심으로 정성적 평가와 더불어 처분시설과 주변환경 진화에 대한 정량적 분석, 발생 가능한 안전기능 상실 그리고 그 결과로 초래된 잠재적 방사선적 영향을 포함한다. 처분시설 폐쇄 후 안전성평가 시나리오의 설정 및 문서화는 논증가능성전략과 강건성전략에 따라 수행하며 IAEA[20]의 FEPs 목록을 참고한다. IAEA[20] FEPs의 상대적 중요도는 전문가적 판단과 평가기반에 기초한 근거에 따라 결정한다.

처분시설 폐쇄 후 안전성평가 모델링은 선원항 모델링, 구조물특성/열화 모델링, 핵종이동 모델링, 기체발생/기체이동 모델링, 생태계 모델링과 종합모델링 등으로 구분하여 수행한다. 처분시설 폐쇄 후 안전성평가를 위한 전산체계는 개발단계에 따라 발전하며 자체검증을 위한별도 전산체계를 확보하여 수행한다.

4. 불확실성 관리

처분시설의 불확실성은 IAEA[7]의 요건에 따라 불확실성의 근원, 본질 그리고 정도에 대해 정량적 방법, 전문가적 판단 또는 두 가지 모두를 사용하여 특성화한다. 불확실성 특성화 과정에서 안전성에 영향을 줄 수 있는 내용은 불확실성 분석과 민감도 분석을 포함한다.

불확실성은 시나리오, 모델링 및 입력데이터 불확실성으로 구분한다. 시나리오 불확실성은 정상시나리오와 비정상시나리오의 형식으로 관리하며, 모델링 불확실성은 대안 모델 사이의 상호비교를 이용하거나 경험모델과 비교를 통하여 관리한다. 입력데이터 불확실성으로 인한 변수 값의 범위는 확률론적 평가 및 보수적 접근방법을 사용하며, 확률론적 평가는 시나리오와 관련된 위해도를 정량화하는데 사용하며, 민감도 분석은 안전성평가 결과에 대한 각 불명확한 입력데이터의 상대적 중요도를 확인하고 평가기반에 반영한다.

Fig. 7에서는 처분시설의 불확실성 관리방안으로 해당 불확실성 항목의 도출(Identification), 특성파악(Characterization), 안전성 관련여부(Relevant for safety)에 따른 불확실성 제거 또는 저감방안의 적용을 통해 불확실성관리대안(Uncertainty Resolution), 평가기반(Assessment Basis)의

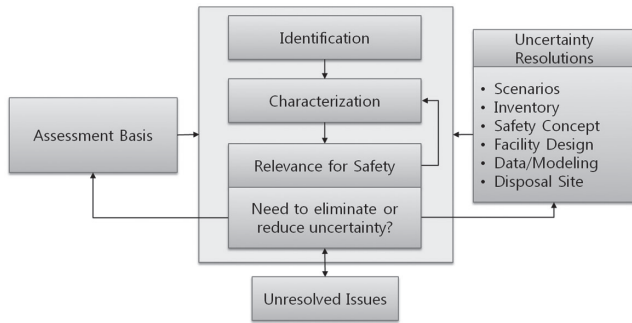


Fig. 7. Uncertainty management of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

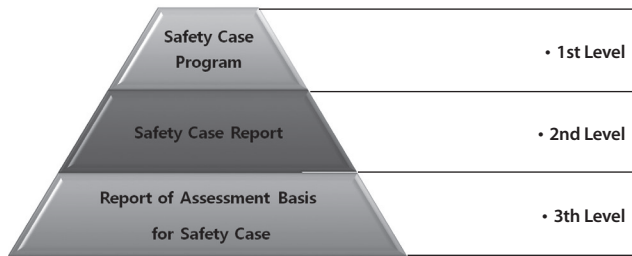


Fig. 8. Documentation plan of KORAD for the radioactive waste disposal facility.

구축 또는 미해결 사안(Unresolved Issues)로 구분하는 내용을 제시하였다.

5. 신뢰성 증진

처분시설의 신뢰성은 안전성확보체계의 안전전략에 따라 확보하며 단계별 평가기반의 가용성과 안전성평가 능력 범위 내에서 최적화를 수행한다. 처분시설 안전성확인을 위한 개별 논거들은 평가기반에 기초하여 불확실성에 대한 통합적 설명을 포함한다. 처분시설 개발에 대한 품질체계는 품질 보증을 위한 관리시스템으로 처분시설 개발 및 운영의 전 단계에 걸쳐 활동, 시스템, 구성요소와 관련된 안전요소에 적용한다.

Safety Case 구축에 따른 처분시설 안전성은 일관된 품질보증과 문서체계를 통하여 논증가능성을 확보하고 향후 Safety Case의 발전에 기여하여야 한다. Safety Case와

안전성평가의 문서화는 처분시설 개발단계에서 의사결정, 정보제공 및 지원을 위한 문서체계에 따르며, 안전성평가의 독립검토를 위한 논증가능성전략에 따라 상세하고 양질의 수준으로 제시한다. 처분시설 Safety Case 개발을 위한 문서 체계는 Fig. 8과 같이 처분시설 Safety Case 종합프로그램(1 단계), 처분시설 단계별 Safety Case 개발 보고서(2 단계) 그리고 처분시설 Safety Case 개발 기초분야 평가기반 보고서(3 단계)의 체계를 적용한다. 처분시설의 신뢰성은 최적화전략에 따라 단계별 평가기반의 가용성과 안전성평가 능력범 위 내에서 1) 처분시설 계획, 건설 및 운영의 단계에서 다양한 설계대안이 장기 안전성에 미치는 영향을 비교제시, 2) 처분시설의 불확실성 예측결과가 성능목표치 또는 제한치를 초과하지 않을 것이라는 합당한 보장 또는 3) 처분시설의 성능을 저해할 수 있는 사건의 불확실성이 부지선정 또는 설계에 의해 합리적 대안으로 감소되었다는 보장을 한다.

처분시설 안전성은 전체처분시설의 강건성전략과 개별 안전기기들의 다중안전기능에 의하여 구성한다. 이러한 심층방어는 다양한 물리적 방벽들의 조합이 안전성평가 시나리오에서 강건성을 제시한다. 공학적방벽과 천연방벽의 수동적 조합에 의해 보장됨을 제시하고 능동적 안전기능을 최소화하도록 구성한다.

또한 심층방어전략은 안전성평가의 예측결과뿐만 아니라 다양한 보조안전지표의 정량적 또는 정성적 활용을 포함한다. 처분시설의 개발과정에서 사용된 데이터, 모델, 평가 절차에 대한 설명과 Safety Case 개발과정에서 확보된 증거, 논거 및 분석에 따른 종합의견을 제시한다.

6. 요약 및 결론

우리나라 중·저준위 방사성폐기물의 처분시설개발을 위해 Safety Case 종합프로그램을 구축하였다. Safety Case 종합프로그램은 한국원자력환경공단의 단계별 처분시설 종합개발을 위한 안전성관단과 계획수립을 목적으로 IAEA 등 국제기준을 참고하여 국내 환경에 적합하도록 구축하였다.

처분시설 종합안전성 확보체계는 최적화전략, 강건성전략, 논증가능성전략 및 심층방어전략에 따라 안전목표와 안전원칙을 만족하도록 구성하였다. 처분시설의 안전성은 평가기반의 품질에 따라 불확실성 저감을 위한 단계별 안전성

평가와 안전성 수준의 확인 및 의사결정판단을 위한 다양한 신뢰성증진을 통해서 확보하도록 하였다.

우리나라 중·저준위 방사성폐기물 1단계 처분시설의 운영과 향후 처분시설의 추가 개발은 구축된 Safety Case 종합프로그램의 내용에 따라 처분시설의 안전성확보에 기여할 것이며 지속적인 보완을 통해 처분시설 Safety Case의 발전이 이루어지기를 바란다.

REFERENCES

- [1] Nuclear Safety & Security Commission, Nuclear Safety Act, Enforcement Date 26. Oct (2011).
- [2] International Atomic Energy Agency(IAEA) Safety Glossary 2007 Edition, IAEA (2007).
- [3] International Atomic Energy Agency(IAEA), The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, SSG-23 (2012).
- [4] Fundamental Safety Principle, SF-1, IAEA (2006).
- [5] International Atomic Energy Agency(IAEA), Disposal of Radioactive Waste, SSR-5 (2011).
- [6] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-56, Radiological Protection Criteria for Long-term Safety on Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal (2014).
- [7] International Atomic Energy Agency(IAEA), Safety Assessment for Facilities and Activities, SGR Part 4 (2009).
- [8] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-11, Standard Format and Content of Radiation Environmental Report for Nuclear Power Utilization Facilities (2014).
- [9] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-34, Regulation on Radiation Protection (2014).
- [10] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-57, Regulation on Reporting and Public Announcement of Accidents and Incidents for Nuclear Power Utilization Facilities (2014).
- [11] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-53, Standards for the Structure and Equipment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Near-Surface Disposal Facilities (2014).
- [12] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-54, Acceptance Criteria for Low and Intermediate Level Radioactive Waste (2014).
- [13] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-55, Quality Assurance Standards for Radioactive Waste Management Facilities (2014).
- [14] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-57, Guidelines for the Preparation of Site Characteristic Report for Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities (2014).
- [15] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-61, Regulation for the Inspection on Transport Cask of Radioactive Material (2014).
- [16] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-62, Technical Standards for the Structure and Equipment of Radioactive Waste Treatment Facilities (2014).
- [17] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-63, Technical Standards for the Operation, Etc. of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities (2014).
- [18] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-64, Guidelines for Preparation of Safety-Analysis Report for Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities (2014).
- [19] Notice of the Nuclear Safety and Security Commission No. 2014-65, Regulations for the Inspection on Disposal of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste (2014).
- [20] Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities (ISAM), Vol.1 Review and Enhancement of Safety Assessment Approaches and Tools, IAEA (2004).
- [21] Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency(OECD NEA), Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, NEA No. 6923 (2012).