

처분 안전성평가에서 자연유사연구의 역할 및 활용

백민훈, 정종태, 최종원, 최경우*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

*한국원자력안전기술원, 대전시 유성구 과학로 62

mhbaik@kaeri.re.kr

1. 서론

처분 안전성평가에서 사용된 모델들과 자료들을 제공하고, 신뢰성을 평가하는데 도움이 될 수 있는 중요한 방법 중 하나가 자연유사연구를 수행하는 것이다[1]. 특히, 최근에 전 세계적으로 처분안전성 확보를 위한 평가프로그램이 safety case 개념으로 확대되어 처분안전성과 관련된 보다 광범위하고 다중의 안전성 입증자료의 확보를 요구하고 있는 실정이다.

자연유사연구는 방사성폐기물 처분장 폐쇄 후 안전성평가를 지원하는 처분장의 장기거동에 대한 이해를 증진시키고, 안전성평가모델에 필요한 정량적 자료를 제공하고, 심지층 처분의 안전성 입증에 위한 보조안전지표로 활용된다. 따라서 방사성폐기물 처분장의 안전성 검증을 위해서는 국내외에서 수행된 자연유사연구 결과들을 처분 안전성평가에 활용하기 위한 방법론이 개발되어야 하며, 개발된 방법론을 활용하기 위한 정보자료의 구축이 필수적이다.

2. 본론

2.1 처분 안전성평가에서 자연유사연구의 역할

현재 자연유사연구는 방사성폐기물의 지중처분을 고려하고 있는 대부분 국가들의 처분 프로그램에서 통합적인 부분의 하나로 간주되고 있는 실정이다. 이러한 자연유사연구의 중요성은 완료되었거나 또는 현재 진행 중인 많은 국가적 또 국제적인 자연유사연구 결과들이 처분장 성능평가와 관련된 많은 논문들과 문헌에서 제시되고 있다는 것에서도 확인할 수 있다. 현재 자연시스템 또는 자연유사물들에 대한 연구들이 처분장에서 발생하는 많은 과정들을 이해하는데 기초가 되고, 따라서 안전성평가 코드를 개발하는데 중요한 역할을 수행하고 있다는 것에는 이견이 없다 (Fig. 1 참조).

방사성폐기물 처분과 관련하여 자연유사연구는

다음과 같은 관점에서 매우 유용하다[2].

- 실질적인 시간대에 걸쳐 처분장 주변에서 발생할 수 있는 것들과 유사한 지질학적 과정들과 기작을 확인하고 이해하는 것
- 장기적인 처분장 성능평가의 기초를 이루는 실험실적 연구에 기초한 모델들을 시험하는데 성공적으로 사용되어져 온 입력자료들을 유도하는 것
- 안전성평가 모델들에 직접적으로 입력 가능한 입력자료들(예를 들면, 암반 확산깊이 등) 생산하는 것

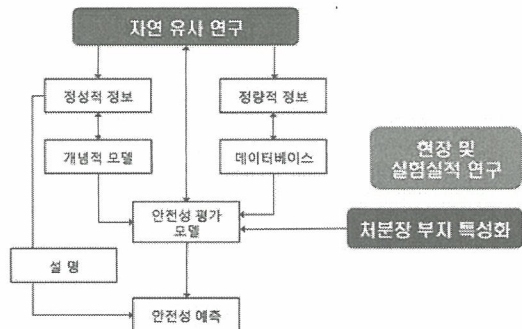


Fig. 1. Schematic illustration for the roles of natural analogue studies in disposal safety assessment.

더구나 자연유사연구는 브로셔, 비디오, 탐방 등을 통해 일반 대중들에게 방사성폐기물 처분개념이나 적절한 기간에 걸친 처분시스템의 신뢰성을 더 잘 이해시키고 설명함으로써 일반대중과의 관계나 교육적인 역할을 수행하는데 매우 중요한 역할을 한다.

2.2 처분 안전성평가에서 자연유사연구의 활용

처분안전성평가에서 자연유사연구결과를 활용하는 방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나눌 수 있다. 그리고 자연유사연구 자료를 직접적으로 활용하는 방법은 크게 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있다.

- 정량적인(hard) 방법: 안전성평가에 수치적 입

력자료로 활용

- 정성적인(soft) 방법: 설명에 의한 개념적 모델들의 신뢰성 구축
- 설명적인 방법: 일반대중과의 관계 또는 인지적인 것

자연유사자료들은 안전성평가에 간접적으로도 활용될 수 있다. 방사성폐기물을 격리하는데 중요한 수많은 FEPs(features, events, and processes)들이 확인되고 기술되어야 하는 안전성평가를 위한 체계적인 시나리오 개발이 그 예라 하겠다. 실험실적 자료 및 현장자료들과 함께 자연유사 자료들의 역할은 시나리오 개발에서 각기 다른 FEPs들을 지원하거나 그렇지 않으면 이들을 포함하는 것이다. Table 1에 처분안전성평가에서 자연유사결과의 활용 예를 제시하였다.

Table 1. Some examples of utilization of natural analogue data in disposal safety assessment.

Safety	Development	Data	Model
KRS-3 (Sweden, 1985)	• Radiolytic oxidation of spent fuel against observations from Oklo	• Max. pitting corrosion factor for Cu • Bentonite stability at T<100°C	
Projekt Gewähr (Switzerland, 1985)	• Stability of borosilicate phases • Stability and instability of concretes and mortars • Stability of bitumen • Radionuclide release concepts against Oklo observations	• Long term steel corrosion rates • Constraints utilization of bentonite	
SKB-91 (Sweden, 1991)	• Support of bentonite stability from observations at Gotland • Redox front model supported by Poole de Callas • Creep observations • Evidence of matrix diffusion	• Limit relevance of colloid transport by using data from Poole de Callas • Demonstrate conservatism in estimating radiolytic oxidation by using information from Cigar Lake	• Radionuclide solubility model testing and comparison with observed solubilities at Poole de Callas and Cigar Lake
TFO (Poland, 1992)	• Use of paleohydro-geological data in development of ice age scenarios • Observations from Cu deposits and Kruman cation to support corrosion estimates • Use of colloid and microbial information from Poole de Callas and Palmetto to develop models	• Matrix diffusion profiles surveyed from various natural analogues	• Testing of UO ₂ spent fuel dissolution models using Cigar Lake information
ARCLIS (Canada, 1994)	• Support development of conceptual models for: - Fuel dissolution - Cu corrosion - Clay swelling, and - Radionuclide retardation, particularly the role of colloids and organics	• Geochemical processes and parameter values for: - Redox control on UO ₂ stability (incl. radiolysis bounding values) - Cu corrosion - Bentonite-to-illite conversion, and - Radionuclide retardation (incl. matrix diffusion bounding values)	• Testing of models and databases for: - Radionuclide solubility - Colloid formation and organic complexation, and - Cu-corrosion, using observations from Cigar Lake, the Canadian Shield and the Kruman cation
Kristallin-1 (Switzerland, 1995)	• Back-up in scenario development	• Bounding calculations on redox front development using information from Poole de Callas • Depths of matrix diffusion penetration	• Radionuclide solubility model testing and comparison with observed solubilities at Poole de Callas, Omm and Masarin • Testing models for redox front development
NRCC IP4 (USA, 1995)	• Disruptive scenario development (volcanism) • Back-up source term conceptual model from Peña Blanca • Relative importance of macro-micro-fracture and matrix transport at Peña Blanca • Back-up for vapour phase transport from Valle Calabera • Back-up conceptual model for transport in fractures	• Identification of secondary phases for long term release at Peña Blanca	• Model testing for elemental transport in unsaturated media at Akroiti

2.3 자연유사연구 활용성 증진방안

비록 몇몇 안전성평가에서 자연유사 자료들을 어느 정도 통합적으로 활용하였다고 하지만 이들 자료들의 활용은 아직 폭넓게 인식되고 있지 못한 실정이다. 자연유사 자료들의 활용성에 장애가 되는 것으로 인식되는 문제점들은 다음과 같다.

- 안전성평가의 요구에 적합한 자연유사 자료들의 취득과 전달이 부적절 함

- 단순한 안전성평가 모델들의 입력자료로 매우 복잡한 자연유사 자료들을 이용하는 데서 오는 어려움
- 대화와 소통을 증진시키기 위한 지구과학적 연구자들 그룹과 안전성평가자 그룹 사이의 친밀한 통합의 필요성

특히, 지구과학적 연구자 및 안전성평가자 두 그룹 간의 소통을 위해서는 그룹 사이에 조정 역할을 하는 중간자 그룹이 필요하다. 이러한 대화와 소통의 증진이 처분장 안전성평가에서 자연유사연구의 중요성을 인식하고, 활용성을 증진시키는데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

3. 결론

자연유사연구는 처분안전성평가에서 매우 다양한 방법으로 중요한 역할을 수행하고 있지만, 처분 안전성평가에서의 적극적인 활용은 아직도 매우 제한적이다. Safety case를 통한 처분안전성평가 및 확보가 중요한 현 시점에서는 자연유사연구 결과의 보다 적극적인 활용방법론 개발과 함께 관계자들의 인식의 전환이 필요하다고 사료된다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력안전연구개발사업의 일환으로 원자력안전기술원의 지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] IAEA, Natural analogues in performance assessments for the disposal of long lived radioactive wastes. IAEA Technical Reports Series No. 304, 1989.
- [2] J.A.T. Smellie, F. Karlsson, W.R. Alexander, Natural analogue studies: present status and performance assessment implications. J. Contam. Hydrol., Vol. 26, pp. 3-17, 1997.
- [3] IAEA, Use of natural analogues to support radionuclide transport models for deep geological repositories for long lived radioactive wastes. IAEA-TECDOC-1109, 1999.