

중·소형 원자로 발생 방사성폐기물 관리 방향 분석

이수홍, 이재민, 한병섭, 송민철*

(주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328

*한국원자력안전기술원, 대전시 유성구 과학로 34

realsh@enesys.co.kr

1. 서론

전 세계적으로 특정 목적을 위한 중소형 원자로의 개발이 진행되고 있다. 연구 목적 및 상용화를 위하여 국내와 국외에서 개발 중인 중소형 원자로는 계통의 단순화 등을 통하여 안전성을 증대하고 방사성 폐기물의 발생을 최소화 할 수 있도록 하고 있다. 중소형 원자로의 운영을 통하여 발생하는 방사성 폐기물의 관리 및 처리는 새로운 위해 요소의 저감을 위하여 체계적으로 수립되어야 하기 때문에 중소형 원자로를 개발하는 국가 및 컨소시엄 기관들은 개발 중소형 원자로의 방사성폐기물 발생 및 처리 계통에 대한 개발 기술 및 방사성폐기물의 발생 저감화 방향을 제시하고 있다. 본 연구에서는 개발 중소형 원자로의 방사성폐기물 저감화 방향을 분석하고 IAEA에서 제시한 신개발 원자로의 방사성폐기물 관리 방향 등의 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 중소형 원자로의 개발 동향

현재 전세계적으로 중소형 원자로는 원자력 발전 용량의 16.5%를 차지하고 있으며 운영 중인 것은 146기, 신설하고 있는 것은 12기이다. 신개발 중소형 원자로는 경제성의 증대, 안전성 및 신뢰성의 확보, 핵연료 주기의 개선, 그리고 방사성 폐기물 발생의 저감화를 목표로 약 26종이 개발 중에 있다. 이 중 13기는 수냉각 중소형 원자로이며 6기는 고온 가스 및 가스 냉각 중소형 원자로이다. 6기는 소듐 또는 납-비스무스 냉각 고속로이며 1기는 HTGR 형태의 초고온 개념의 액체 염화 원자로이다. 국내에서 개발하고 있는 SMART의 원자로형인 가압경수로형을 채택하고 있는 개발 중소형 원자로로는 IRIS(미국 포함 국제 컨소시엄), CAREM-25[300](아르헨티나), MARS(이탈리아), SCOR(프랑스), VBER-300(러시아) 등이 있다.

2.2 개발 중소형 원자로의 방사성폐기물 저감화 기술 적용 방향

원자로형별로 적용되는 방사성폐기물의 저감화 기술은 다음과 같다.

2.2.1 수냉각 중소형 원자로

- 보론 미사용
- 1차 계통의 간소화 및 관련 기기의 감소 : 집약형 설계, 최소화, 계통 연결의 간소화
- 낮은 운전 온도
- 운전 주기 증가
- 원자로 해체 공정의 간소화
- 폐기물 처분 및 처리 기술의 개발

2.2.2 가스 냉각 중소형 원자로

- 사용후핵연료의 고온 소결을 통한 고준위 방사성폐기물의 저감화
- 금속 구조재의 방사화 방지 기술 적용

2.2.3 액체 금속 냉각 중소형 원자로

- 핵연료 재처리의 신개념 건조 기술이 적용된 폐쇄적 핵연료 주기를 통하여 방사성폐기물 발생의 감소화
- 장수명 고준위 방사성폐기물 감소 기술 적용

2.3 개발 중소형 원자로의 방사성폐기물 저감화 관리 계획

국외에서 현재 개발 중인 주요 중소형 원자로의 방사성폐기물 발생 저감화를 위하여 적용하는 기술로는 IRIS는 핵연료의 재장전을 near-term 조건에서 4년, mid-term 조건에서는 8년으로 설정하여 사용후핵연료의 발생량을 감소화시킨다. MARS의 경우 1차측의 방사성 오염이 최소화 될 수 있도록 설계하였으며, 특히 1차측이 낮은 온도에서 운전됨으로써 1차측 구조재의 피로도를 저감시켜 이에 따른 부수적인 방사성폐기물의 발생을 저감시키도록 하고 있다. 또한 모든 구조물의 크기를 기존 대형 원전에 비하여 극히 작게 설계하여 부속물의 탈부착을 용이하게 하여 해체의 공정을 단순화 시켰다. SCOR의 경우 보론을 사

용하지 않아 1차측의 오염을 감소시키며 이에 따라 방사성폐기물의 발생량이 적어지고 삼중수소의 발생을 최소화 하도록 하였다. IMR의 경우도 1차측의 계통 설계를 단순화하고 보론을 사용하지 않아 방사성폐기물 발생량을 최소화 하였다. VBER-300은 본래 선박용 원자로 규격으로 설계됨에 따라 1차측의 누출이 최소화 할 수 있도록 하였으며 closed-loop 시스템으로 1차 냉각수의 오염을 최소화 하고 자체적인 개발 관리 체계를 통하여 폐기물의 발생을 최소화 하였다. 또한 폐기물 재처리 기술을 적용하여 액체고형화 폐기물은 최대 40m³, 고체폐기물은 20m³을 초과하지 않도록 하고 있다.

2.4 방사성폐기물의 관리 방향

IAEA에서는 TECDOC-1434를 통하여 개발되는 신형 원자로 및 핵연료 주기에 대한 기술 개발 현황을 제시와 해당 로형 등에 대한 평가 방법과 경제성 및 안전성, 환경 영향 조건을 제시하였다. 특히 방사성폐기물에 대한 일반적 관리 방향과 이를 통한 신개발 원자로의 방사성폐기물 관리 방향 기준을 제시하였다.

방사성폐기물에 대해서는 다음과 같이 9개의 기본적인 관리 원칙을 제시하였다.

- 가능한 최소한 발생할 수 있도록 한다
- 인간을 보호할 수 있는 허용된 기준으로 관리
- 환경을 보호하기 위한 허용 수준으로 관리
- 신뢰성 확보를 위하여 기준 준수
- 현재에 허용되는 수준을 유지
- 관련 시설의 운영주기동안 타당한 수준 유지
- 다음 세대에 영향을 주지 않도록 함
- 생성/관리의 상호의존성에 대한 신뢰성 확보
- 규제 범위 내에서 관리

이러한 방사성폐기물에 대한 기본 원칙에 대하여 신형로의 경우 규제 범위 준수에 대한 기본적인 사항을 제외하고 4개의 범주로 통합하여 관리 방향을 제시하고 있다. 해당 기준은 개발 원자로의 기술 특성에 따라 다시 세분화하여 기준이 제시되어야 하나 일반적인 기준은 4개의 항목으로 최소화, 인간과 환경의 보호, 다음 세대로의 영향 규제, 방사성폐기물 관리의 최적화로 설정된다. 기본 원칙 1인 발생의 최소화의 경우 ALARP(as low as reasonably practical, social and economic factors taken in to account)을 기준으로 하고 있으며, 기본 원칙 2인 인간 및 환경의 보호의 경우

피폭 및 방출 예측 평가를 통한 피폭 대상군에 대한 법적 제한치를 제시하도록 하고 있다. 기본 원칙 3은 현재 발생 방사성폐기물로 인하여 다음 세대에 부담을 주지 않도록 하고 있으며 이를 위하여 발생 폐기물에 대한 기술 유효성을 검토하여 적용 가능한 기술이 도입되도록 하고 있다. 기본 원칙 4인 방사성폐기물 관리의 최적화는 관리 기술 공정의 수립 및 분류 기준의 설정을 요구하였다.

3. 결론

본 연구에서는 전세계적으로 개발 중인 신형 중 소형 원자로의 개발 동향 및 폐기물 관리 기술 현황을 제시하였다. 또한 IAEA에서 제시하는 기본적인 방사성폐기물 관리 방향을 분석하고 이를 통한 신형 원자로의 설계 및 적용 특성에 따른 타당한 관리 방향의 수립 방법을 제시하였다. 현재 제시되고 있는 관리 방향을 구체화 하기 위해서는 개발 중 소형 원자로의 계통 설계 특성 등의 분석이 추가적으로 수행되어야 하며 이를 통하여 해당 개발 원자로형에 적합한 방사성폐기물의 관리 방향의 설정이 구축될 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

- [1] IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.2, Design features to achieve defence in depth in small and medium sized reactors, 2009
- [2] IAEA-TECDOC-1536, Status of small reactor designs without on-site refuelling, IAEA, 2007
- [3] IAEA-TECDOC-1451, Innovative small and medium sized reactors : design features, safety approaches and R&D trends, IAEA, 2005
- [4] IAEA-TECDOC-1485, Status of innovative small and medium sized reactor designs 2005, IAEA, 2006
- [5] IAEA-TECDOC-1434, Methodology for the assessment of innovative nuclear reactors and fuel cycles, IAEA, 2004