

방사성 폐기물 처리 및 고화 기술의 혁신화 방법론

김성호, 성계용*, 김길유

한국원자력연구소, 대전 유성구 덕진동 150번지
한국원자력안전기술원, 대전 유성구 구성동 19번지

well48@hanmir.com

서론

원자력 발전소(NPP)는 운전 단계나 폐로 단계에서 중저준위의 방사성 폐기물(=방폐물)을 발생시키고 있다. 우리나라에서는 중저준위 방사성폐기물 처리 및 고화 기술의 표준화/국산화 작업에 앞서, 1980년대에 이미 방사선 방호 측면 및 경제성 측면에서 이러한 처리 및 고화 기술의 최적 선정[1]이 수행됐다. 하지만, 그 이후로 새로운 처리/고화 기술[2]의 연구 개발, 삶의 질 향상, 에너지 부문에서 지속가능성의 추구, 테러리즘 우려에 대한 핵확산 저항성의 확보, 특히 국내적으로는 국가 차원의 기술/전략 혁신화 움직임 등으로 사회적인 패러다임이 바뀌고 있는 상황이다. 또한, 우리나라는 20기의 원전을 운전 중이고, 원전이 전체 전력 수요의 1/3 이상을 공급하고 있으며, 대외적으로는 원자력 기술 선진국에 속하여 원전-관련 기술을 수출하고 있는 실정이다.

이러한 여러 가지 추세 변화에 맞춰서, 중저준위 방사성폐기물 처리/고화 기술들의 혁신화 현황을 살펴보는 것은 의미있는 일이라고 볼 수 있다. 이러한 방폐물 처리/고화 기술의 혁신화 목표는 다름 아닌 다각적인 측면(예: 인체 보건, 외부 환경 친화성, 자원 활용성, 대중 수용성)에서 지금 세대와 다음 세대의 지속가능성 향상에 있다고 볼 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 방폐물 관리에 관한 국가 정책에 부합되는 처리 및 고화 기술/전략의 활용이 촉진되고 있으며, 더 나아가 기존 기술의 혁신화 전략이 국제적인 관심거리가 되고 있다.

여기서는 혁신화 관점에서 이러한 중저준위 방폐물의 다양한 처리 및 고화 기술/전략들의 융합화 과정을 통한 혁신화 단계에서 고려되는 의사결정 요소들을 소개하려고 한다[3]. 이러한 고찰은 기술적 차원에서는 전통적인 우세한 기술(predominant technologies)의 반복적이고 점진적인 혁신화 과정을 통해 혁신적인 기술(innovative technologies)의 창출에 도움을 줄 것이며, 비기술적 차원에서는 혁신화 촉진인자(예: 규제, 법령)를 통해 전통적인 소내 분산식 처리 전략을 보완하는 시너지 전략 대안(예: 이동식 전략)을 발굴할 기회를 줄 것으로 기대한다.

혁신화 방법론

혁신화 전략

‘혁신화’ 또는 ‘혁신’이란 개념은 개별 기술 자체에서 보다는 개별 기술의 결합화 전략이나 접근법과 관련이 있다. 예를 들면, 어떤 세탁 장비/기술은 개별적으로는 혁신적이라고 간주되지 못하지만 이것이 방사선 방호 의류의 재사용에 활용되는 경우에는 혁신적 기술로 분류된다. 어떤 혁신적인 전략은 모든 조직체한테나 공통적으로 수용되지 않을 때 매우 제한적인 개념일 수도 있다. 그러므로 혁신적 기술이란 어떤 새로운 기술이라고기보다 이미 활용된 특정 기술들을 융합(fusion; mix)이라는 과정을 통해 더 폭넓게 활용하려는 어떤 시도라고 볼 수 있다.

어떤 기술/전략이 그 자체로는 혁신적이지 못하지만, 대내외적으로 광범위하게 이행될 활용 가치가 있으며, 다음과 같은 판단기준 가운데 하나를 만족하는 경우에는, 혁신화 기술/전략으로 불릴 수 있다. 1) 폐기물 최소화; 2) 재활용 및 재사용; 3) 중앙식 처리 시설 사용; 4) 이동식 처리 시설 사용.

혁신화 메커니즘

여기서는 혁신화 메커니즘으로 소의 중앙식 전략과 이동식 전략이 제안되었다.

소의 중앙식 처리 전략: 여러 나라에서 공통적으로 사용되고 있다. 특히, 어떤 처리/고화 기술(예: 고온 처리 시설)이 초기투자 비용이 높고 운용단계에서 높은 기술적 전문지식을 요구하는 경우에 이러한 중앙식 전략이 필요하다. 이러한 전략은 부지-특정 시설의 대안이 된다. 이 기술 활용에 따르는 비처리 방폐물의 수송 어려움 때문에, 이 기술은 액체 폐기물 보다는 주로 습/건 고체

폐기물의 선처리에 더 적합하다.

이동식 처리 전략: 어떤 처리 기술은 부지에 배달된 이동식 시설 형태로 사용될 수 있다. 사용이 끝나면 이 시설은 다른 부지에서 사용되기 위해 이동될 수 있는 유연성을 갖는 대안이다. 높은 이행 비용을 들이지 않고도 발전소의 실제 니즈에 따른 최적 관리 기법을 선정하는 경우에 이 전략의 유연성이 빛을 낸다. 이 기술은 신규 원전에서는 설계 단계에서 반영될 수 있다.

혁신화촉진인자

혁신적인 기술/전략의 선정에 영향을 주는 주요 촉진인자[4]는 다음과 같다:

처분 시설의 가용성 및 허용 기준: 전략의 선정에서 가장 중요한 인자는 처분 시설의 가용성이다. 처분 시설이 가용한 경우에, 이것이 부가하는 제한사항(예: 폐기물 형태/포장의 성능 요건)에 따라 처리 기술이 결정돼야 한다. 처분 시설이 불가능한 경우에는, 저장 전략(예: 소내 저장, 중앙식소의 저장), 저장 시설 형태, 중간 저장(interim storage) 기간 등이 결정돼야 한다. 처분 허용 기준은 처분 시설의 위치 및 형태(예: 천층 처분, 심지층 처분, 지상 공학 구조물 등)에 의존한다. 전형적인 허용 기준으로 유리수(free liquid) 허용량, 안정화의 여부, 용기 형태, 허용 방사성 핵종의 형태, 기술적 제한사항 등이 고려되고 있다. 예를 들면, 단수명 방사성 핵종은 천층(near surface) 처분 시설을, 장수명 핵종은 중간층(subsurface) 처분을 필요로 한다.

소내/소의 저장 용량의 가용성: NPP 폐기물의 처분 시설 대안이 고려되지 않는 경우에, 소내 중간 저장(예: 러시아, 리투아니아, 일본) 또는 지역 저장(예: 캐나다 온타리오주) 방안이 허가되고 있다. 처분 시설이 있는 경우에는, LILW 중간 저장 대안은 억제되거나 금지되고 있다. 또한 여러 나라(예: 프랑스, 일본, 리투아니아, 핀란드)에서는 비처리 폐기물은 중간 저장이 억제되고 있다. 저장 시설의 추가 건설은 NPP의 토지 가용성 제한이나 국가 규제/정책 부합 여부 등에 따라서 제한되고 있는 실정이다. 또한 기존 저장 시설은 중간 저장소로 계속 사용되고 있는 반면에, 저장 시설의 신규 건설은 억제되고 있는 추세이다(예: 영국, 프랑스). 이러한 상황에서는 연장 운용을 위한 수용가능성과 관련하여, 폐기물 저장 시설의 수명 및 저장용 용기의 수명/조건 등이 중요 인자로 보여 진다.

대중 수용가능성: 주관 신규 공정이나 신규 시설을 도입하려는 경우에, 대중 수용성이 매우 중요하다. NPP 운전원은 대중에게 이러한 도입을 설명하게 되므로, 법령에 따르거나 자체적인 의사결정에 따라 대중의 자문을 개입시키는 것이 바람직하다. 이는 신규 처리 기술 도입이 중요한 소내 건설을 초래할 수도 있기 때문이다.

수송 가용성: NPP 폐기물을 소외 처분 시설에서 처분하는 전략이나 소외 중앙식 처리 시설에서 처리하는 전략을 채택하는 경우에, 대중 지역을 통한 폐기물의 수송은 필수적으로 수반되는 일이다. 수송용 폐기물의 부피 최소화가 아주 중요한 고려사항이다. 그러므로 부피 저감을 최대화할 수 있는 소내 처리 공정이 선호되고 있다. 수송 가용성은 폐기물의 전과정 관점에서 고려되어야 한다. 수송단계에서는 지역 주민들의 저항이 발생할 수 있다.

결론

원자력 발전의 운전 단계나 폐로 단계에서 중저준위 방폐물 처리 및 고화 기술들의 혁신화 전략으로 소외 중앙식 전략 및 이동식 전략 잠재력이 검토됐다. 향후에는 이러한 혁신화 과정이 지속가능성 향상 정도에 미치는 파급 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 혁신화 척도(measures)의 연구 개발이 수행되기를 기대해 본다.

참고문헌

1. 김용익 외 (1983), 방사성 폐기물 처리 처분 연구 (II): 중저준위 방사성 폐기물 최적 처리 처분 기술 선정 (A Study on Optimum Technology for the Treatment and Disposal of Low and Medium Radioactive Wastes), KAERI/RR-366/82, 한국에너지연구소, 대전, 345pp.
2. 김준형 외 (2001), 원자력시설 제염·해체 및 방사성 폐기물 처리·처분 기술, KAERI/NTC/ID/2000-02, 한국원자력연구소, 대전, 363pp.
3. IAEA (May 2006), Innovative waste treatment and conditioning technologies at nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1504, Vienna, 64pp.
4. 김성호 (2006), 원전의 혁신적인 폐기물 처리 및 고화 기술, 한국과학기술정보기술원, 대전, 6pp.