

특별강연

원자력 이용의 미래, 사용후핵연료 관리

송기찬

한국방사성폐기물학회 회장



· 서울대 원자력공학 학사
· KAIST 원자력공학 석사, 박사

- 한국원자력연구소 건식공정핵연료
기술개발부 과제책임자
- 한국원자력연구원 재순환핵연료기
술개발부 부장
- 핵연료주기기술개발본부 연구위원
- 핵연료주기기술개발본부 본부장
- 한국방사성폐기물학회 회장(16~)

세계에너지위원회(World Energy Council)는 매년 120여 개 국가의 에너지 트릴레마 지표(Energy Trilemma Index)를 매년 발표하고 있다. 에너지 트릴레마 지표는 에너지 안보(Energy Security), 친환경성(Environmental Sustainability), 에너지 공평성(Energy Equity)이란 3개의 하위 지표로 구성되며, 해당 국가의 관련 정책, 기술, 인력, 투자, 산업 인프라 등의 현재를 모두 반영하여 각 하위 지표별 순위와 종합 순위를 발표한다.

2015년 11월에 발표된 자료에 의하면 우리나라는 에너지 안보 측면에서는 101위, 친환경성에서는 94위, 에너지 공평성에서는 20위, 종합 순위는 54위에 위치하고 있다. 에너지 안보와 친환경 에너지원 개발과 확보를 위해 현재를 살고 있는 우리 모두가 우리의 후손을 위해 노력해야 할 일들이 너무나 많음을 단적으로 시사하고 있는 자료이다.

2015년 12월에 프랑스 파리에서 열린 파리 기후총회(COP21)에서 우리나라는 의욕적인 자발적 기여(INDC: Intended Nationally Determined Contribution)에 의한 온실가스 감축 목표를 2030년 배출 전망치(BAU: Business As Usual) 대비 37%로 제시하였다. 이 목표 역시 국내외에서 긍정적인 평가를 받고 있는 것 같지만, 목표 달성을 위해서는 뼈를 깎는 노력이 필요한 것도 사실이다.



월성 원전 사용후핵연료 저장 시설. 원자력 발전은 화석 에너지에 비해 탄소 배출량이 매우 적고 경제성이 높음에도 불구하고, '사용후핵연료' 문제를 해결해야만 우리와 후세의 에너지 지속성을 위한 역할을 기대할 수 있을 것이다.

다양한 사용후핵연료 관리 기술을 고민하고 준비해야

당장 전원 계획에서 석탄, 석유 등 화석연료를 사용하는 화력 발전은 더 이상 증설이 불가하여, 에너지 자원과 환경 측면에서 전 세계에서도 가장 열악한 우리나라의 현실을 생각한다면, 지속적 국가 발전을 위해 필요한 전력수급의 문제는 당분간 원자력 발전이 담당해야 할 것이다.

1978년 고리 원자력발전소에서 처음 원자력에 의한 전기 생산을 시작한 아래 원자력에 의한 풍부한 전력 공급이 우리나라의 산업과 사회 발전에 절대적으로 기여했다는 것을 부정하는 사람은 없을 것이라 생각한다.

원자력 발전은 화석 에너지에 비해 탄소 배출량이 매우 적고 경제성이 높음에도 불구하고, '사용후핵연료' 문제를 해결해야만 우리와 후세의 에너지 지속성을 위한 역할을 기대할 수 있을 것이다.

앞으로도 우리가 상당 기간 동안 국가 발전의 동력으로 '불가피하게' 원자력을 이용할 수밖에 없다면, 후손들에게 사용후핵연료 관리라는 무거운 짐을 남기지 않도록 다양한 사용후핵연료 관리 기술을 고민하고 준비해야 할 의무가 있다.

원자력안전법 제2조 제18호에 따르면, 미래창조과학부 장관과 산업통상자원부 장관이 폐기기에 합의하고 원자력진흥위원회에서 심의·의결된 사용후핵연료만이 방사성폐기물로 정의된다.

국제적으로도 사용후핵연료에 대해서는 자원 혹은 폐기의 대상으로 보는 두 가지 시각이 존재한다. 각 국가 별로 정치, 외교, 경제, 사회, 에너지 안보, 기술 수준 등을 종합적으로 고려하여 사용후핵연료 관리를 위한 국가 정책, 즉 자원으로 재활용 할 것인가, 또는 심지어 직접 처분하여 인간 생활권에서 격리시킬 것인가를 결정하게 된다.

2015년 OECD 원자력국(NEA)에서 발간한 「핵연료주기 기술 로드맵」에서도 적시하고 있듯이, ‘관망(wait & see)’은 관리 옵션이 아니며, 이런 맥락에서 ‘장기 저장(extended storage)’은 사용후핵연료 심지층 처분의 대안이 될 수 없다.

우리나라의 방사성폐기물 분류 기준에 따른 처분 방법은 다음과 같다. 고준위 폐기물(폐기가 결정된 사용후 핵연료)은 심지층에 처분, 중준위 폐기물은 경주 중·저 준위방사성폐기물 처분장에 건설된 사일로와 같은 중간 깊이 동굴 처분, 저준위 폐기물과 극저준위 폐기물은 트렌치, 볼트 등의 기술을 이용하여 천층 처분하도록 규정되어 있다.

해외의 사용후핵연료 심지층 처분 현황

해외 주요 원자력국의 사용후핵연료 관리를 위한 국가 정책 중 심지층 처분과 관련된 주요 현황을 살펴보면, 핀란드는 4기의 원전을 가동 중이며, 2012년 12월 POSIVA 최종처분장 건설 허가를 신청하여 2015년 2월 STUK으로부터 건설 허가를 받아, 2020년대 최종처분장 운영을 목표로 하고 있다.

스웨덴에서는 10기의 원전이 가동 중이며 처분 예정 부지로 포스마크를 확정하였다. 2011년 3월에 건설 허가 신청서를 제출하였으며, 2019년 건설 허가가 결정될 예정이다. 2025년경 최종처분장 운영을 목표로 하였으나, 약 5년 정도 지연될 것으로 예상한다.

일본은 48기의 원전을 가지고 있으며, 최종 처분 부지를 공모 중이다. 2013년에 사용후핵연료 처분 계획을 수립하였으며, 2030년대 후반에 최종처분장 운영을 목표로 하고 있다.

미국은 100기의 원전을 가동 중이며, 사용후핵연료 최종처분장으로 유카산 지역을 결정하였으나 취소하였

다. 2013년 1월 에너지부에서 「사용후핵연료 관리 전략」을 발표하였으며, 2025년 사용후핵연료 중간저장시설 운영, 2048년 심지층처분장 운영을 개시하고자 노력하고 있다.

스위스는 5기의 원전이 가동 중이며, 처분 부지로 3개 부지를 조사 중이다. 2019년경 최종 부지를 선정할 계획이며, 2045년 처분장 건설에 착수, 2050년대에 처분장 운영 개시를 목표로 하고 있다.

사용후핵연료의 최종 처분을 위해서는 처분장 건설과 운영 이전에 처분 시스템의 성능과 안전성을 현장에서 실증·시연하고, 안전성 평가(safety case assessment), 처분장 건설·운영 엔지니어링 기술의 검증, 지하 심부지질 특성에 대한 조사·분석 기술 개발, 전문가 양성, 대국민 홍보 등을 종합적으로 수행하기 위한 지하연구시설(URL, Underground Research Lab.)을 확보해야 한다.

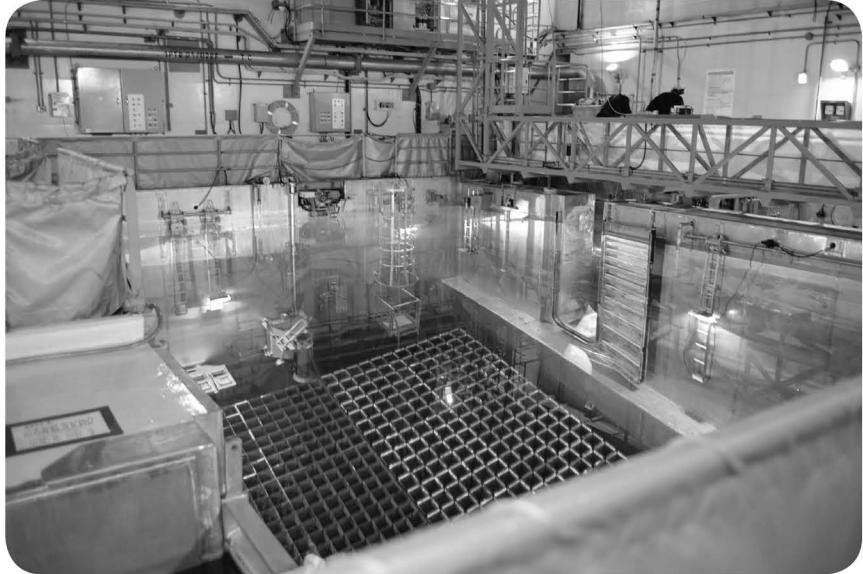
처분 시스템은 기술적으로 공학적 방벽과 천연 방벽의 성능과 안전성을 자국의 심지층 환경에서 실증하여야 하며, 이는 URL 시설을 통해서만이 구현 가능하다.

시기적으로도 처분장 부지 선정, 건설, 인허가 등에 수십 년이 소요되기 때문에 건설 착수 전 처분 안전성을 실증하기 위하여 국내에 URL을 조기에 확보하는 것이 사업 성공의 필수 요건이다.

해외 사례와 중·저준위방폐장 건설 사업에서 경험하였듯이, 처분 사업은 대국민 수용성이 절대적이며, URL은 처분 안전성에 대한 대국민 신뢰도 증진과 확보에 크게 기여할 것이다.

해외 사례를 종합해 보면 방사성폐기물 관리 체계는 사업 주체, 자금 감독, 사업 규제 감독의 체계로 구성되어 있다.

최종처분장 부지 선정을 위한 정책과 과정은 제일 먼저 부지 선정 방안을 설정한 다음, 부지 특성 평가 단계



한울 원전 사용후핵연료 저장조. 원자력 이용의 미래는 전적으로 사용후핵연료 관리에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 정부에서도 「고준위폐기물 관리 기본계획」과 「미래원자력시스템 기술개발 및 실증 추진 전략」을 확정하였다.

에서는 예비 조사, 상세 조사, 안전성 평가의 과정을 거쳐 최종 처분 부지를 선정하고 있다.

부지 선정의 고려 요소는 필수적으로 고려해야 할 사항들과 선택적으로 고려해야 할 선호 조건을 자국의 지질 특성에 맞게 설정하여 법제화 하였다. 특히 자국의 심부 지질 환경을 조사하기 위해 URL 등의 연구 시설을 확보하고, 이를 대국민 홍보와 국민 신뢰 획득을 위한 지렛대로 활용하였으며, 최종 처분 부지로 확정된 지역에 인허가용 URL을 건설하여 부지 특성에 대한 상세 조사를 실시하였다.

우리나라의 사용후핵연료 관리와 연구 개발

이상의 해외 사례를 통해 우리가 새겨야 할 교훈은 사용후핵연료 관리 사업은 원전 건설 단계에서부터 계획하고 준비해야 하며, 이에 기초한 다양한 연구 경험과 결과들이 사용후핵연료 관리에 대한 기반 확보의 토대

가 되었다는 것이다.

또한 부지 선정에 대한 주요 가이드라인의 마련, 선정 절차에 대한 법제화, 부지 공모 실패에 대비한 대안 마련 등과 더불어 지속적이고 안정적인 사업 추진이 성공의 열쇠라는 것이다.

정부가 주도하는 사업에 대해 국민 신뢰를 확보하기 위해서는 정치적 영향이 완전히 배제된, 과학기술에 근거한 환경 영향 평가 결과를 국민들에게 제시하여야 하며, 모든 과정과 정보를 인터넷과 대중 매체를 통해 철저히 공개함으로써 높은 수준의 국민 이해도와 수용성을 확보할 수 있다는 점이 사업 성공의 필수 전제 조건임을 알 수 있다.

2016년 7월 25일 제6차 원자력진흥위원회에서는 「고준위폐기물 관리 기본 계획」과 「미래원자력시스템 기술개발 및 실증 추진 전략」이 의결되었다.

「고준위폐기물 관리 기본 계획」의 골자는 중간저장·영구처분 부지를 선정(D+12년)한 후, 해당 부지에 중간

저장시설을 건설·운영(+7년)함과 동시에, 영구처분시설을 건설(+24년)한다는 계획이다.

영구처분시설 건설 기간 동안 URL을 건설, 실증연구를 수행(14년)한 결과를 바탕으로 처분시설을 건설(10년)하여 처분장 운영을 시작하겠다는 계획이다.

이와 같은 처분 부지 확보와 처분 시설 건설과 병행하여 고준위 방사성폐기물 관리 기술의 확보를 위해 국내 산·학·연 역량을 결집하고, 국제 협력 등 개방형 기술 개발을 통해 안전성과 경제성을 모두 추구한다는 목표를 수립하였다.

특히 2015년 11월에 발효된 한미원자력신협정에 따라 파이로프로세싱 기술 협력 등 사용후핵연료 관리를 위한 다양한 제도를 적극 활용한다는 기본 방향도 설정하였다.

우리나라가 효율적인 사용후핵연료 관리를 위한 여러 기술 중 우리의 환경과 현실에 가장 적합한 기술이라고 선택해 2008년부터 연구 개발하고 있는 것이 파이로프로세싱 기술이다.

이 기술은 화학공학에서 많이 사용하는 전기화학적 방법을 사용해 사용후핵연료로부터 초우라늄 원소들과 장반감기/고독성 원소들을 분리하는 기술로, 사용후핵연료를 직접 처분하는 것에 비해 독성 감소 기간을 1/1000 이하로 대폭 줄이면서, 고준위 폐기물 처분 면적을 1/100 수준으로 대폭 줄일 수 있는 큰 장점을 가지고 있다.

한국원자력연구원을 중심으로 현재 개발 중인 파이로공정 기술은 핵무기 전용 가능성이 높은 고순도 플루토늄 회수가 원천적으로 불가능해 확산저항성이 높을 뿐만 아니라, 공정 폐기물 발생량이 적어 환경친화적이며, 습식 처리에 비해 공정이 단순해 상대적으로 경제성이 높은 기술이다.

현재 한미 공동 연구를 통해 경수로 사용후핵연료를

대상으로 2020년까지 파이로 기술을 더욱 발전시키고, 경제성과 핵비화산 수용성을 입증할 계획이다.

“원자력 이용의 미래는 사용후핵연료 관리에 달려 있다”

원자력 이용의 미래는 전적으로 사용후핵연료 관리에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 이제 정부에서도 「고준위폐기물 관리 기본계획」과 「미래원자력시스템 기술개발 및 실증 추진 전략」을 확정하였다.

이 계획의 이행 과정에서 과학과 기술에 근거한 투명한 정보 공개를 통해 국민의 이해와 신뢰를 얻고, 지역 주민들과 지속적으로 소통하는 것만이 원자력 이용의 미래가 달려 있다는 것은 몇 번을 강조해도 모자랄 것이다.

이와 관련하여 우리에게 가장 먼저 다가온 숙제는 원전 부지 내에 사용후핵연료를 단기 저장하는 문제가 될 것이다. 이 과제 역시 정부는 물론, 산·학·연이 과학 기술에 근거하여 투명하게 모든 정보를 공개하고 지역 주민들과 끊임없이 소통할 때 원자력계의 신뢰 회복의 가능성성이 있으며, 이를 바탕으로 최우선 과제를 해결할 수 있는 가능성과 길이 보일 것이다.

인류가 환경과 공존하면서 풍부한 에너지를 제공해 줄 수 있는 에너지원이 금세기 안에는 반드시 개발될 것이라 확신한다.

그 때까지 환경 보존과 에너지 안보를 위한 ‘가교’ 역할을 원자력이 할 수 밖에 없다면, 마지막 숙제인 안전하고 효율적인 사용후핵연료 관리 기술 확보는 국익과 국민의 안전을 위해 우리 원자력계가 당연히 풀어야만 하는 숙제이기에, 국민과 지역 사회의 신뢰와 지원 하에 「고준위폐기물 관리」와 「미래원자력시스템 기술개발 및 실증」이 우리 국가 발전의 또 다른 원동력으로 자리매김하는 그 날을 기대해 본다. ☺