

2025
December

한림원의
목소리
제 117 호

사용후핵연료 관리 정책으로 K-원자력의 미래를 열다



사용후핵연료 관리 정책으로 K-원자력의 미래를 열다



우리나라는 원전의 지속적인 운영으로 인해 사용후핵연료 누적량이 증가하면서 원전 부지 내 임시저장 시설이 2030년부터 순차적으로 포화할 것으로 예상되고 있으며, 이에 따라 국가 차원의 관리 정책 수립이 시급한 과제로 대두되고 있다. 2025년 11월 14일 발표된 ‘한·미 정상 간 회담(10월 29일) 공동 설명자료’에 따르면, 미국은 한국의 핵추진잠수함 건조를 승인하였으며, 한·미원자력협력협정에 부합하고 미국의 법적 요건을 준수하는 범위 내에서 한국의 평화적 목적을 위한 민간 우라늄 농축 및 사용후핵연료 재처리 절차를 지지하기로 하였다. 우리나라가 실제 핵추진잠수함을 확보하고 농축·재처리를 수행하기까지는 많은 과제가 남아 있지만, 두 나라 정상회담을 통해 중요한 첫발을 내디뎠다고 할 수 있다.

사용후핵연료는 영구 격리가 필요한 고준위 방사성폐기물이면서, 약 95%가 우라늄과 초우라늄 원소로 구성된 재활용 가능한 자원이기도 한 이중적 특성을 지닌다. 사용후핵연료 관리 방식은 크게 ‘직접처분’과 ‘재활용 후 처분’으로 구분된다. 직접처분은 사용후핵연료를 심지층에 영구 격리하는 국제적 표준 방식으로, 우리나라는 최근 「고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법」 제정으로 영구처분장 부지 확보를 위한 법적 기반을 마련했다. 앞으로는 우리나라 지질 환경에 최적화된 처분 시스템 개발과 사회적 수용성 확보가 향후 핵심 과제가 될 것이다.

반면 재활용은 사용후핵연료에서 유용 자원을 회수해 고준위 방사성폐기물의 부피와 독성을 획기적으로 줄이고 에너지 자원 활용도를 극대화하는 방식이다. 특히 우리나라는 핵확산저항성이 강화된 건식 재처리 기술인 파이로프로세싱(Pyroprocessing)을 선제적으로 개발해 왔으며, 이 기술의 실증과 상용화를 위해서는 한·미 원자력협력협정에 따른 미국의 포괄적이고 장기적인 동의 확보가 필수적이다.

지금까지 우리 정부는 재활용 여부를 결정하지 않는 ‘관망(Wait & See)’ 정책을 유지해 왔으며, 이로 인해 장기적인 정책 방향에 대한 불확실성이 지속되어 왔다. 최근 제정된 특별법 역시 영구처분시설 부지 확보에만 초점을 두고 있어 재활용을 포함한 총체적 정책 방향을 제시하지 못하고 있다. 특히, 원전 부지 내 저장시설 용량 제한, 부지 간 사용후핵연료 이송 금지 등 일부 조항은 원전의 안정적 운영을 저해할 수 있는 문제점을 안고 있다.

이번 한림원의 목소리에서는 ‘우리나라의 사용후핵연료 관리 기술 및 정책에 대한 견해’를 주제로 관련 전문가들의 논의와 분석을 토대로 우리나라 사용후핵연료 관리 기술 및 정책의 전략적 방향을 제시하고자 한다.

사용후핵연료의 위험성

탄소 배출이 적고 경제성이 높은 원자력발전을 활용하는 과정에서 필연적으로 발생하는 사용후핵연료는 초기에는 높은 수준의 방사선과 열을 방출하므로 원전 부지 내 사용후핵연료 저장조에서 보관한다. 그러나 수 년이 지나면 단반감기 핵종이 모두 붕괴하며 방사선 준위가 급격히 낮아진다. 방사성 붕괴의 특성에 따라 사용후핵연료의 방사능과 열은 약 300년 이내에 빠르게 감소해 자연 냉각만으로도 충분히 냉각할 수준에 이르며, 이후에는 장기간에 걸쳐 서서히 줄어든다. 환경과 상호작용하면서 오염수나 오염 기체를 방출하는 일반 산업폐기물과 달리, 사용후핵연료는 시간이 지남에 따라 별도의 조치 없이도 방사능이 감소하는 특성을 지니므로 과학기술적으로 안전하게 관리할 수 있는 폐기물이다. 그럼에도 불구하고 사용후핵연료는 국민에게 영구적으로 환경을 위협하는 고위험 폐기물이라는 오해를 받아왔다.

사용후핵연료 처분의 시급성

사용후핵연료를 즉시 처분해야 한다고 주장하는 목소리가 있는 반면, 다른 일부는 장기간 보관 후 처분해도 무방하다고 분석한다. 지난 50여 년간 국내외에서 사용후핵연료는 안정적으로 관리되어 왔으며, 원전 내 저장시설 용량 부족 시 건식 저장시설을 도입하는 방식은 이미 선진국에서 안전성이 입증되었다. 후쿠시마 원전 사고 당시에도 건식저장된 사용후핵연료에는 아무런 문제가 발생하지 않았다. 그러나 과거 수십 년간의 안전한 관리 경험이 향후 수백 년간의 안전성을 보장하는 것은 아니다. 장기 보관 중 피복재의 손상 가능성 등 잠재적 위험은 여전히 존재하기 때문이다. 따라서 사용후핵연료를 원전에서 배출 후 10~20년 안에 즉각 처분할 필요성은 없지만, 100~200년 내에는 반드시 처리해야 한다. 이러한 특성을 고려할 때 고준위 방사성폐기물 영구처분장의 조기 확보를 원자력발전의 전제로 연계시키거나 조속한 마련을 종용함으로써 미성숙 기술을 조기에 채택하도록 강제하는 것은 바람직하지 않다.

사용후핵연료의 자원성과 폐기물성

사용후핵연료는 법적으로 폐기물이 아니며, 원자력안전법에 따라 폐기하기로 결정된 사용후핵연료만이 고준위 방사성 폐기물로 정의된다. 핵연료의 약 4~5%는 핵분열이 잘 일어나는 우라늄-235이고 나머지는 우라늄-238이다. 원자로에서 연소 후 배출된 사용후핵연료에는 연소되지 않은 우라늄 산화물과 플루토늄 등 천연우라늄보다 약 두 배 많은 핵분열성 물질이 포함되어 있다. 이처럼 사용후핵연료는 재활용 가능한 자원을 함유하고 있어, 폐기물성과 자원성을 동시에 갖는다.

사용후핵연료 처분과 처리(재활용)의 선택

사용후핵연료의 최종 관리는 당장 수십 년 내 해결해야 하는 시급한 사안은 아니지만, 장기적 관점에서 전략적 대책이 필요한 것은 분명하다. 사용후핵연료 관리는 원전 부지 내 습식 또는 건식 임시저장, 소외 중간저장을 거쳐 직접처분(영구 처분)하거나, 처리(재처리·재활용)를 거쳐 영구처분하는 단계로 이루어진다.

직접처분은 사용후핵연료를 가공하지 않고 그대로 영구 격리하는 방식이며, 처리는 유용 자원을 회수한 뒤 상대적으로 소량의 고준위 방사성폐기물만을 처분하는 방식이다. 처리 공정 비용은 크지만 고준위 방사성폐기물의 양을 약 5% 이하로

줄여 장기 처분비용을 낮출 수 있으며, 재활용을 통해 연료비 절감도 가능하다. 국가별 원전 규모와 기술 역량에 따라 직접 처분과 처리 후 처분의 경제성은 달라질 수 있다.

다만 재처리 기술은 핵무기 제조와 연계될 수 있어 엄격한 국제적 제약을 받는다. 지금까지 우리 정부는 처분 또는 처리 후 처분 중 어떤 방식을 채택할지 명확한 입장을 밝히지 않는 ‘Wait & See’ 전략을 유지해 왔으나, 원전 가동 확대와 저장시설 포화 압박이라는 현실 속에서 국가적 차원의 정책적 결단이 불가피한 상황이다.

국내 사용후핵연료 관리의 최신 기술 적극 도입

사용후핵연료를 안전하게 관리하기 위한 기술은 지속적으로 발전하고 있으므로, 특정 시점의 기술을 고정적으로 적용하기 보다는 당시 가장 적합한 최신 기술을 활용하는 것이 합리적이다. 예를 들어, 1980년대 스웨덴과 핀란드에서 개발된 KBS-3 처분 방식은 당시에는 유효한 해법이었으나 폐기물 처분 비용이 과도하게 높은 매우 보수적인 기술이다. 최신 연구를 반영하면 구리 용기의 두께를 대폭 줄여도 안전성을 확보할 수 있고, 캐니스터 적재 효율을 높여 비용 절감도 가능하다.

따라서 국내 정책 당국이 최신 기술을 유연하게 반영하지 않고 과거 기술을 고수하는 것은 비합리적이다. 사용후핵연료 직접 처분과 재활용 기술 모두 연구개발이 진행 중이며, 기술개발의 결과는 국가정책에 지속적으로 반영되고 개선되어야 한다.

고준위 방사성폐기물 특별법의 한계

최근 제정된 「고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법」은 몇 가지 논란이 되는 조항을 포함하고 있다. 원전 부지 내 건식 저장 용량 제한, 발전소 간 사용후핵연료 이동 금지 등은 국제적으로 안전성이 이미 입증된 방안을 불필요하게 제한하는 것으로, 이러한 규제는 사업자의 합리적 권한을 침해할 수 있다.

또한 특별법 시행으로 부지 내 저장시설 증설이 제한되면서 2030년 이후에는 저장시설의 순차적 포화가 예상된다. 이처럼 기술 외적인 요소로 인해 사용후핵연료 관리가 시급한 문제로 변질되고 있다. 아울러 특별법은 직접처분 부지 확보를 위한 법적 기반에 중점을 두고 있어, 사용후핵연료 재활용 여부 등 국가 핵연료주기 정책의 근본적인 불확실성을 해소하지 못한다.

02

사용후핵연료 관리에 대한 제언

국가 사용후핵연료 관리 정책의 결정

원자력발전의 지속가능성을 확보하고 미래세대의 부담을 줄이며 에너지 자원 활용을 극대화하기 위해서는 현재의 ‘Wait & See’ 기조에서 벗어나 보다 능동적이고 전략적인 정책 결정을 조속히 내려야 한다. 직접처분을 위한 영구처분장 확보는 정부 계획대로 추진하되, 장기적 자원 활용성을 고려해 처리(재활용) 연구도 병행해야 한다. 이를 위해 한·미 원자력협정의 관련 조항을 개정하여 미국의 포괄적·장기적 동의를 확보할 필요가 있다. 또한, 사용후핵연료 관리 전반에 대한 국민적·국제적 신뢰를 확보하기 위해 투명한 정책 수립과 사회적 합의 절차를 강화해야 한다.

정치적 영향을 배제한 장기적이고 안정적인 정책 추진

사용후핵연료 정책은 정권 변화에 흔들리지 않도록 독립적인 거버넌스를 갖추고 장기적 지속성과 재정적 안정성이 보장되어야 한다. 이를 위해 사용후핵연료 관리기금의 독립적 운영, EU 택소노미 등 국제기준과의 정합성 확보, 처분·재활용 기술에 대한 장기적 연구환경 조성 및 전문 인력 양성을 국가 차원에서 지원해야 한다. 전문가 집단은 직접처분과 재활용이라는 분야별 이해관계를 넘어 국가 차원의 최적 정책을 수립해야 하며, 대중과의 소통을 통해 불안과 오해를 해소하고 최신 연구 성과가 정책에 반영될 수 있도록 해야 한다.

사용후핵연료 안전관리를 위한 처분·재활용 기술의 확보

사용후핵연료의 재활용 여부와 무관하게 고준위 방사성폐기물의 처분 기술은 필수적이다. 우리나라 지질 특성에 적합한 한국형 사용후핵연료(또는 고준위 방사성폐기물) 처분개념을 개발하고, 지하연구시설 등을 통해 처분 기술을 검증해 사회적 수용성을 확보해야 한다. 지속가능한 원자력발전을 위해서는 안정적인 연료 수급과 사용후핵연료 처분 부담을 줄일 수 있는 재활용 기술을 활용할 필요가 있다. 다만 국제사회의 핵확산 우려를 해소하기 위해 위탁 재처리, 다자간 파이로프로세싱 협력 등 국제 협력 방안을 적극 활용하고, 관련 외교적 노력을 강화해야 한다.

부지 내 건식저장시설 확충

사용후핵연료 중간저장시설과 영구처분장 건설이 지연될 경우에도 원전의 계속운전을 위해 부지 내 건식저장시설을 확충해야 한다. 특히 사용후핵연료 저장용량의 조기 포화가 예상되는 한빛·고리·한울 원전 부지에는 건식저장시설을 적기에 구축할 수 있도록 정부는 제도적 지원이 뒷받침되어야 한다.

사용후 핵연료 관리의 흐름



한국과학기술한림원은

대한민국 과학기술분야를 대표하는 석학단체로서 1994년 설립되었습니다.

1,000여 명의 과학기술분야 석학들이 한국과학기술한림원의 회원이며, 각 회원의 지식과 역량을 결집하여 과학기술 발전에 기여하고자 노력해오고 있습니다. 그 일환으로 기초과학 연구의 진흥기반 조성, 우수한 과학기술인의 발굴 및 활용 그리고 정책자문 관련 사업과 활동을 펼쳐오고 있습니다.

The Korean Academy
of Science and Technology

KAST



한림원의 목소리는,

과학기술분야 석학들인 한국과학기술한림원 회원들의 전문성과 식견을 바탕으로 국가적, 사회적 이슈에 대한 과학기술적 해결 방안과 정책적 대안 제시, 관련 법규 및 제도의 개선방향 제시 등을 위해 발간되고 있습니다.

한림원에 대해 더 자세한 내용 보기



 홈페이지



 유튜브



 포스트

KAST 한국과학기술한림원
The Korean Academy of Science and Technology

(13630) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42(구미동) 한국과학기술한림원회관

Tel. 031.726.7900 Fax. 031.726.7909

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로 우리나라의 공익적 가치 증진에 기여하고 있습니다.

