

<에너지안보와 지속가능 원자력을 위한 농축과 재활용 필요성>

한국원자력학회장 이기복

◆ 국제 에너지 환경 변화, 원전의 역할과 중요성 증대

- 기후위기 대응 탄소중립: 화석 연료 퇴출, 무탄소 전력원(원전과 재생E) 확대
 - * 한국의 국가온실가스 감축 목표(2030 NDC): 2018년 대비 40% 감축
- 에너지안보: 러-우 전쟁, 이스라엘-하마스 전쟁, 세계 에너지 시장 교란, 가격 급등, 에너지원의 무기화 --> 에너지 안보의 중요성, 원전은 에너지 안보의 주축(약 3년 비축량, 공급원 다양)
- 전력 수요 급증: 전기화, 전기차, AI Data 센터, 값싸고 질 좋고 안정적 전력 공급원으로서 원전 역할 중요
 - * 재생E 확대, 전력 공급의 불안, ESS 구축 한계: 재생E의 간헐성, 불안정성 보완하는 원전
 - * 미세먼지(석탄, LNG), 소음과 빛 반사, 광대한 면적(재생E): 국민 건강과 환경 보호

◆ 핵연료 수요 급증(세계, 우리나라):

- 세계는 원자력 확대 및 도입, 회귀 재도입: 핵연료 수요 급증
 - * 탈원전국가의 원전 재도입(이탈리아, 독일), 동남아(베트남..), 아프리카(케냐..)의 원전 도입
 - * 2050년 원자력 용량 3배 증대(COP28, 2023)
 - 우리나라 원전 26기 운용(31% 전력 공급): 11차 전기본(2+1) 원전 확대 예정
 - 경수형, 비경수형 다양한 원전(대형, SMR, MMR, 연구로)의 핵연료 공급
 - * 사고저항성핵연료(ATF), 농축도 상향 LEU+ 핵연료, HALEU(5~20%의 저농축우라늄), 고연소도 핵연료
 - 원전의 수출: 핵연료 공급 보장 대비
 - 다양한 농축도와 형태(산화물, 금속, 액체)의 핵연료 필요, 핵연료 공급 준비
 - 여러 가지 형태의 핵연료 관리에 적합한 방법 또한 필요
- ☞ 재활용, 핵연료 기술과 핵연료(20%이하 농축 우라늄) 수급 역량 및 경제성 제고 매우 중요
- * 재처리(습식)과 재활용(파이로프로세싱+고속로) 기술 구별

◆ 핵연료 현황과 문제점

- 지정학적 경쟁으로 인한 국제 농축 시장의 붕괴 및 농축 공급망의 진영화
- 탈냉전기에 △미국이 구소련 HEU 도입·희석으로 핵연료 공급(2013년 중단), △러시아의 변환·농축 대거 공급(47%) 등으로 핵연료 시장이 안정되었으나, 우크라이나-러시아 전쟁 이후 대러 제재로 인한 핵연료 공급 불안정으로 핵연료 가격 5배 급등
 - * 러-우 전쟁 이후 글로벌 공급 불확실성 증가로 전쟁 전 약 60\$/SWU였던 우라늄 농축서비스 가격이 현재는 170\$/SWU로 2년 만에 3배 가까이 급등함. 정광-변환-농축을 아우르는 핵연료 수급 전 과정을 해외에 의존하는 우리나라는 핵연료(농축우라늄) 수급 안정화를 위한 국가 전략 수립이 필요

- 미국은 대러 제재를 위해 러시아산 핵연료 도입을 축소 중이며, 현 30% 수준에서 2028년부터 전면 도입 중지 입법화
- G7 중 미·영·불·캐·일 등 원자력발전 5개국은 2023년 4월 “탈러(Russia-Free), 자립의 민수 핵연료와 방사성물질 공급망 구축”을 목표로 하는 전략적 파트너십 ‘샷포로 5’를 발족하고, 변환·농축 역량 증대를 위해 3년간 총 42억 불 투자에 합의
- 러시아 의존도 감축 기조와 현재 계획된 개발·증설 계획에 따르면 2040년까지 서구권의 정광·변환·농축 수요 대비 공급 비율은 각각 80%, 80%, 90% 수준으로, 공급 부족이 발생함
 - * 정광과 변환은 단기적인 공급 부족이 예상되지만, 설비와 탐사에 대한 투자가 확대되면서 공급 부족이 곧 해소될 것으로 예상됨
 - * 농축은 공급의 40% 이상을 차지하는 러시아를 배제할 경우, 서구권 독자 공급망으로는 신규업체 진입에도 불구하고 2035년까지 공급 부족이 이어질 것으로 예상됨.
- >> 경제성 및 공급 불안정성 극복 방안-저농축 시설과 재활용 시설 구축
 - * 상위 랭킹 12개국(미, 중, 불, 러, 한국(5위), 캐나다, 우크라이나, 일본, 스페인, 스웨덴, 인도, 영국) 원자력 발전국 중 한국만 농축재처리가 없어서, 미래 에너지안보가 극도로 취약
- >> 한국의 농축 역량 부재로 핵연료 공급보장이 불가능함에 따라, 향후 핵연료 부족 시대에는 한국의 원전 수출 경쟁력도 약화 전망
- >> 한국이 SMR, 마이크로 원자로, 차세대 원전을 개발해도 상당 기간 핵연료(특히 HALEU 연료) 조달 곤란

◆ 평화적 목적을 위한 대응 방향-저농축과 재활용 시설 확보

- 역대 정부의 평화적 원자력 이용 천명: 평화적 이용 의지 지속
 - * 이승만 정부: 핵의 평화적 이용 4원칙(1955)
 - * 박정희 정부: 핵확산금지조약(NPT) 서명(1968)과 비준(1975)
 - * 노태우 정부: 한반도 비핵화 공동선언(1991)-농축과 재처리 포기
 - * 노무현 정부: 핵의 평화적 이용에 관한 4원칙(2004)
 - * 윤석열 정부: 워싱턴선언(2023)-핵협의그룹(NCG), NPT이행 재확인, 핵무기포기
- 평화적 이용을 전제로 **저농축과 재활용 시설 확보: 경제성과 핵연료 안보**
 - * 고농축과 재처리기술(기간, 인력, 예산, 부지 등)-제약과 기술적 한계 너무 큼
 - * NPT 준수와 한미원자력협정하에서 평화적 이용 전제
 - * 미일 원자력협정 참고: 협정전 농축과 재처리 기술과 시설 기보유
- 한미와 글로벌 협력 체제 강화: 농축시설의 공동 활용(건설, 투자, 지분)
- NPT 준수와 감시 사찰 허용으로 **핵투명성과 신뢰 확보** 노력
- **사용후핵연료 재활용**: 파이로프로세싱과 고속로 이용한 U+Pu 재활용
 - * 고준위방폐물 부피와 독성 감축(이론상 95% 감축 가능)
 - * 기술개발과 실증 필요(한미공동연구 Joint Fuel Cycle Study: JFCS)

- 사용후핵연료의 위탁 재처리 옵션
 - * 고준위방폐물 처분과 U+Pu 보관 관리 방안 수립 고민
- 러시아 의존 탈피, 공급원 다양화 다국화—장기적 핵연료 전주기의 자립화
 - * 한수원, 핵연료 및 서비스 공급사인 '유렌코'와 장기 원전연료 공급 계약(2024.03)
 - * 한수원, 미국 핵연료 공급사인 센트루스 에너지와 농축우라늄 공급 계약(2025.02)
- 자체 우라늄 자원 공급 방안 추구: 해수 U, 금산지역 우라늄광 개발(경제성)
- 핵협의그룹회의(NCG) 활성화 촉구-구체적 실천 방안 논의
- 시설 확보시 원전 수출에 따른 핵연료 공급 옵션에 활용
- ☞ 한국의 지속가능, 미래 원자력 역량을 갖추려면 농축과 재활용에 대한 미국의 포괄적 동의가 필수이므로, 2035년 개정 한미 원자력협정에 이를 반영할 수 있도록 현재 국내외 정세의 호기를 적극 활용 필요