

## PWR 사용후핵연료의 건식저장 건전성 평가 방법

국동학, 조동건, 정종태, 이종열, 김성기, 이민수, 최희주, 최종원  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
[syskook@kaeri.re.kr](mailto:syskook@kaeri.re.kr)

### 1. 배경 및 필요성

국내 경수로 사용후핵연료(이하 모두 경수로로 대상으로 함)의 습식저장용량은 현재 진행중인 조밀랙 설치를 감안하여도 2016년을 전후하여 한계에 이를 것으로 알려져 있으나, 경수로 사용후핵연료의 폐기물 발생량을 획기적으로 줄일 것으로 기대되는 Pyroprocess 공정과 소듐고속로(SFR) 연계 기술의 완성은 2025년 이후에 구체화될 것으로 예상된다. 따라서 비록 아직까지 사용후핵연료 처리에 관한 확고한 국가정책이 정해지지 않았지만, 현실적으로 직면한 사용후핵연료의 관리문제를 해결하기 위해서는 현재 전세계적으로 활발하게 상용운전중인 건식저장시설만이 최우선적인 선택사항으로 남게 된다. 그림1를 통하여 기존의 사용후핵연료의 저장이 습식위주였다면, 현재는 건식저장이 대세를 이루고 있음을 알 수 있다. 이러한 건식저장시설을 건설하기 위해서는 가장 우선적으로, 저장행위의 주요 대상이 되며, 핵심이 되는 사용후핵연료 및 피복관에 대한 건전성 평가가 필수적으로 선행되어야 하고, 이 평가 결과를 바탕으로 연료를 담게 되는 저장용기 및 저장시설에 대한 기념 설정 및 설계 업무를 진행할 수 있다. 미국을 비롯한 건식저장기술의 선진국들은 10여년간의 건전성 평가 수행경험과 20여년간의 상용시설 운영경험을 통하여 건식저장시설이 안전하고 경제적이며, 확장성이 뛰어나다는 결론을 얻어내었다.

그러나, 각 나라마다 자신들의 고유 사용후핵연료에 대한 건전성 평가 자료를 전혀 공개하지 않고 있으며, 저장시설 인허가 요건에 저장대상 사용후핵연료에 대한 고유한 시험(PIE) 자료를 필수적으로 제시하도록 명기하였다. 따라서, 만일 우리나라가 시급한 상황을 해결하기 위하여 자체 기술개발 없이 기존의 외국건식저장기술을 도입한다 하더라도, 우리나라 사용후핵연료 자체에 대한 고유한 시험자료 제시의 필수적인 과정이 된다.

또한 국내 핵연료들의 원자노내 연소도 경향은 그림2에서 보는 바와 같이 평균연소도가 45,000 MWd/MTU에 이르고 최대 연소도는 60,000 MWd/MTU에 거의 육박하는 뚜렷한 고연소도 운전 정책을 반영하고 있다. 지금까지 상용운전중인 대부분의 건식저장시설들은 상대적 저연소도(미국 기준: 3,5000 MWd/MTU) 기준으로 설정된 상태이며, 현재 각국에서 고연소도 운전추세를 반영하기 위하여 새로운 인허가 기준 설정 작업을 진행하고 있으며, 그와 관련하여 새롭게 고연소도 핵연료 및 피복관에 대한 건전성 평가를 수행하고 있다.

### 2. 국내외 현황

외국의 건식저장에 대한 연구는 70년대부터 약 10여년간 미국, 독일, 일본을 중심으로 활발하게 진행되었고, 80년대 중반부터 구체적인 인허가 기준 설정과 함께 상용운전을 시작하였다. 그러나, 20여년의 상용운전이 성공적으로 이루어졌음에도 불구하고 전세계적인 고연소도 운전 추세에 따라 기존의 인허가 기준을 넘는 연료들에 대한 새로운 기준 제시를 위해 새롭게 건전성 평가 연구를 재개하고 있다.

80년대 말부터 우리나라에도 이와 관련한 연구 움직임이 시작되어 90년대 초중반까지 건식저장시설에 대한 개념을 도출하였다. 비록 상세설계 및 상용 단계에는 이르지 못하였으나, 사용후핵연료 및 피복관 건전성에 대한 코드들(SIECO, SPENFIP, SFINEL)등을 개발한 경험이 있으며, 저장시설에 대한 기념설계들을 수행한 경험들이 있다. 또한 2002년부터 현재까지 한국수력원자력을 중심으로 구체적인 건식저장시설 기념설계를 수행해오고 있다. 그러나, 앞서 기술한 바와 같이 국내 고유 사용후핵연료 및 피복관 자체에 대한 건전성 평가 자료가 밑바탕이 되고 있지 않

으므로, 아래 제시할 수행 방법과 같은 건전성 평가를 필수적으로 수행해야 한다.

### 3. 평가 방법

사용후핵연료 및 피복관의 건전성 평가를 위해서는 크게 3단계로 나누어 진행해야 한다(그림 3 참조). 첫째, 국내 고유의 사용후핵연료 및 피복관에 대한 자세하고 실질적인 자료들을 확보하여 Database를 구축해야 한다. 이 자료를 바탕으로 저장 대상 핵연료를 선정할 수 있으며, 향후 생산되는 모든 자료들을 유기적으로 보관할 수 있어야 한다. 둘째, 사용후핵연료를 건식저장함에 있어서 연료 및 피복관이 겪게 되는 모든 연화기구들을 예측하여 안전성을 평가해 볼 수 있는 평가코드를 개발하여야 한다. 앞서 확보한 실측 DB 값을 이 코드에 입력하여 건전성 유지 여부를 다양한 조건하에서 평가해 볼 수 있다. 셋째, 연소이력별/발전소별/저장분위기별 조사후시험을 수행해야 한다. 앞서 기술한 바와 같이 건식저장시설을 운영하기 위해서는 반드시 국내 사용후핵연료에 대한 조사후시험 자료를 생산하여야 하며, 각 조건별로 실제 연료 및 피복관의 재료적 특성을 직접 시험을 통해 확인하여야 한다. 이 시험결과들 역시 앞서 개발될 Database에 반영되고, 건전성 코드에도 반영이 되어야 한다. 이와 같이 크게 3단계 줄기의 유기적인 조합을 통해서 종합적인 건전성 평가 결과를 도출할 수 있으며, 평가 결과들은 다음 단계의 저장 용기 및 저장시설에 구체적인 설계 기준을 제시할 것으로 기대할 수 있다.

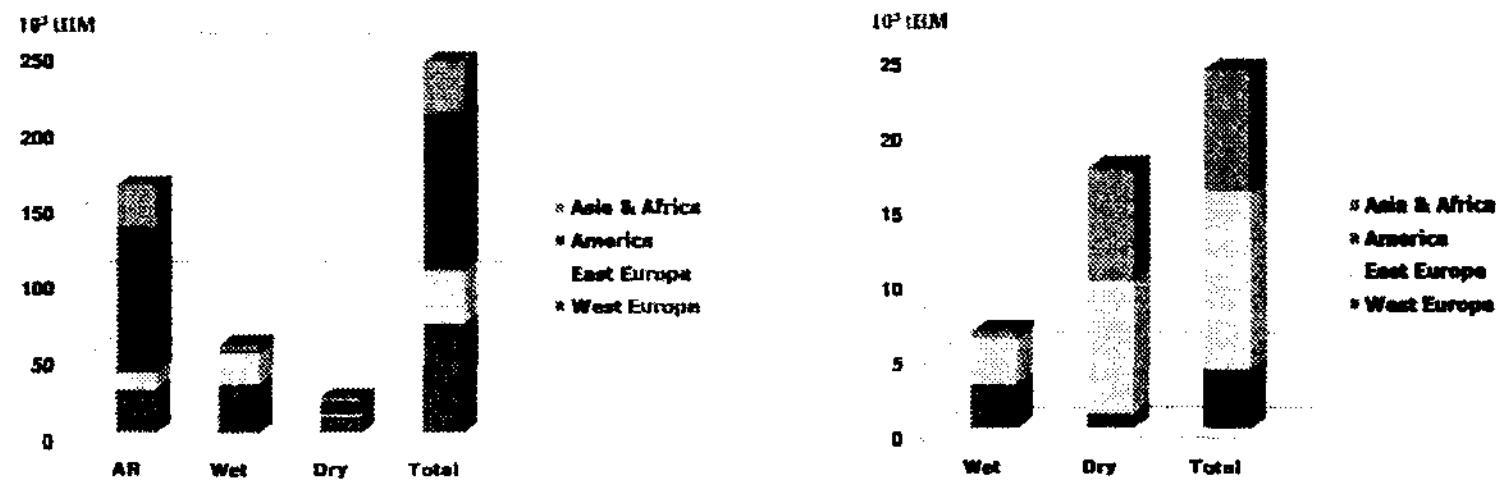


그림 1. 전 세계의 저장현황 (좌: 운영중인 시설, 우: 건설중인 시설) (2002년, IAEA자료)

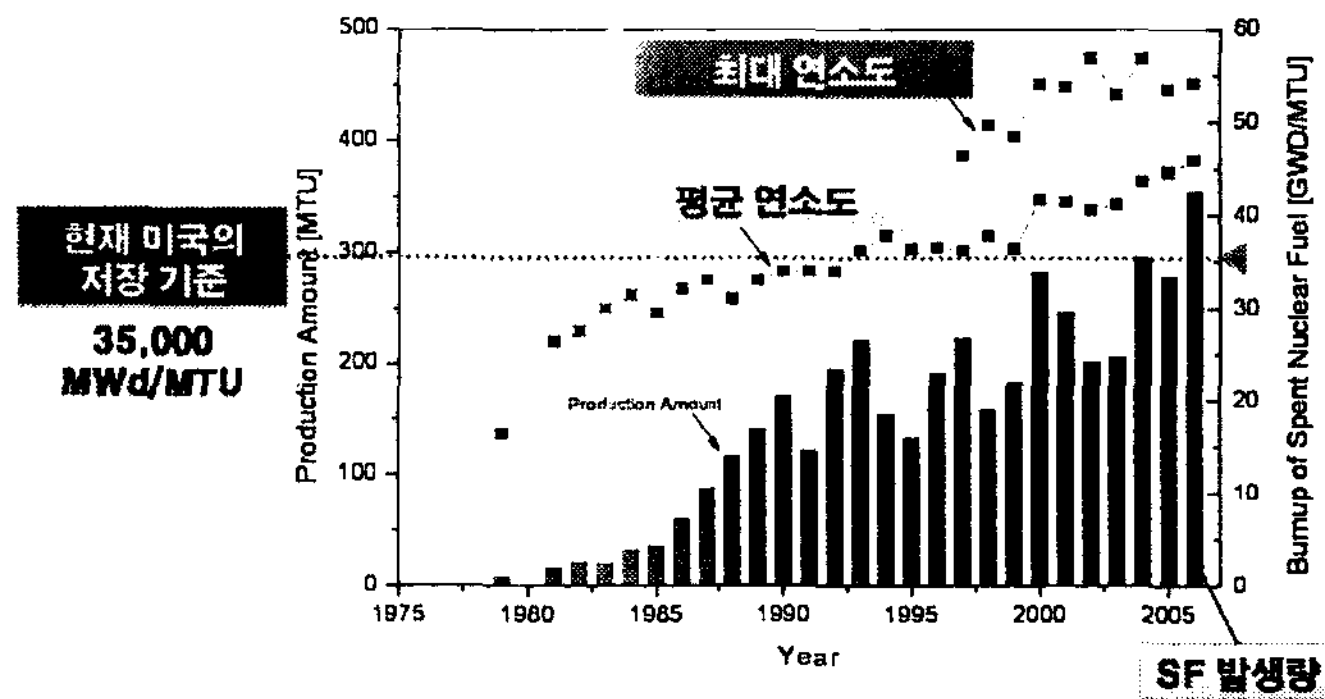


그림 2. 국내 사용후핵연료 발생량(붉은 막대) 및 연소도 추이(점선)

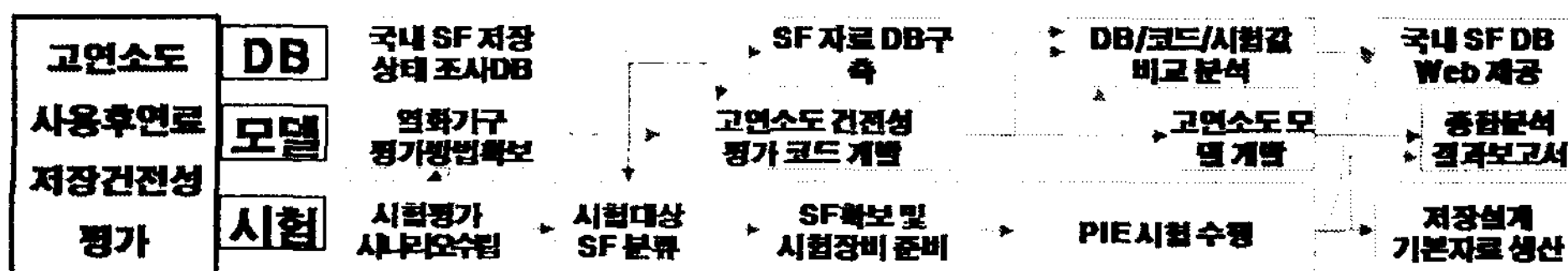


그림 3. 고연소도 사용후핵연료 저장 건전성 평가 방법