

국의 사용후핵연료 건식저장시설 책임계해석 및 설계동향 분석

김태만, 서하나, 조천형, 윤정현
 한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1
tmkim@krmc.or.kr

1. 서론

현재 사용후핵연료(Spent Fuel, SF)의 건식저장시설의 책임계안전성 평가는 신연료로 가정하여 임계도 해석을 수행하고 있으며, 이는 원자로에서 인출된 후 저장시설에서의 핵중구성 및 농축도와는 상당한 차이를 가진다[1]. 이에 최근에는 원자로에서 조사현상에 의한 핵연료집합체의 핵중구성 변화에 따른 반응도 감소현상(연소도효과, Burnup Credit, BUC)을 반영하여 책임계 안전성을 평가하는 연구가 국제적으로 활발히 진행되고 있다[2]. 이에, 선진국가들의 연소도효과를 적용한 임계도해석의 기술개발 현황을 조사/분석하고 이를 통하여 국내에서의 연구개발 타당성 평가에 대한 범위를 설정하고, 향후에 진행될 SF 수송/저장시스템의 개념설계에 활용하고자 한다.

2. 본론

2.1 미국의 현황

현재 미국(NRC)의 경우, 습식저장시설에 대해서는 Actinide와 핵분열생성물(F·P)을 규정하였으나, 건식저장시설과 운반용기에는 아직 Actinide만을 적용하는 개념을 승인하였으며, 다양한 정부관계 연구기관과 산업체가 연계하여 활발히 적용기술 연구를 진행하고 인허가 기관에 검토 및 적용승인을 요청하고 있다. 특히, 원전에서 배출된 SF의 초기농축도, 연소이력자료와 Actinide만을 고려한 용기의 장전곡선을 활용하여 비교평가하고, 고용량의 운반/저장용기에 대량의 SF를 적용하는데 필요한 추가적 부반응도를 도출하였다. 주요 Fission Product(F.P)와 Minor Actinides(M.A)를 포함한 효과적 핵종 적용방안을 제시하고 있다[3][4].

특히, 미국 NRC는 ISG-8.Rev2(BUC in the Criticality Safety Analyses of PWR SF in Transport and Storage Casks)를 바탕으로 HOLTEC사의 HI-STAR 100 System에 사용되는 MPC32(Multi Purpose Canisters)에 대하여 Actinide 핵종의 BUC에 적용을 승인하였다. HOLETEC사는 MPC32에 대하여 2002년에 CoC(Certification of Compliance)의 변경허가를 신청하였으며, 2006년 10월에 변경을 승인 받았다. HI-STAR 100 System은 7개의 MPC를 포함하는 저장시스템으로 외형은 그림1과 같으며, 개념도는 그림 2와 같다. MPC 32의 설계특징은 WH17×17(3중)과 B&W15×15(4중)의 핵연료를 장전할 수 있으며, HOLTEC사는 미국 원전내 수조의 90%이상 수송 가능할 것으로 예상하고 있다. [5][6]

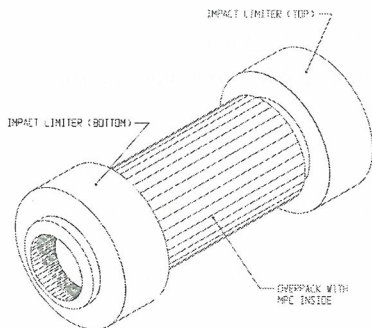


그림 1. HI-STAR 100 Overpack(Cask)

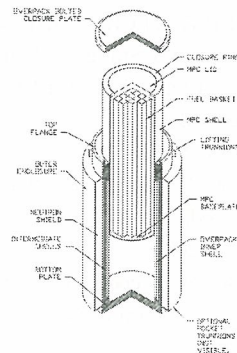


그림 2. The MPC in HI-STAR 100

2.2 독일의 현황

현재 독일의 BUC적용은 건식저장시설과 운반용기에 대하여 Actinide만을 적용하는 것은 이행하고 있으며, 세계에서 유일하게 Actinide와 F·P까지 고려할수 있는 'Concept'을 인정한 국가이다. 독일의 다양한 사용후핵연료의 중간저장시설은 대부분 'CASTOR®' 형식으로 건설되었다.[7] 특히, 독일은 아래사항

과 같은 개념을 설정하여 BUC적용을 이행하고 있다.

- ▶ BUC의 활용/이행 방안 : 독일에서는 운반/저장용기를 활용하기 위해서는 감독기관의 설계승인과 운반승인을 받아야 하며, 관리기관으로부터 저장시설의 건설승인을 받아야 한다.
- ▶ BUC적용 절차 : 상용원전의 SF는 운전/연소이력과 조성/구조에 기초하여 주요관심 핵종의 조성을 결정하며, 본 사항을 바탕으로 유효증배계수를 평가해야 한다.
- ▶ 장전곡선의 적용 : 핵연료의 초기농축도와 연소이력을 바탕으로 SF의 장전곡선을 도출하여야 한다.

2.3 일본의 현황

일본의 경우 현재까지는 습/건식저장시설과 운반용기에 BUC의 적용사례나 Concept 승인된 사례는 없다. 그러나 일본은 다양한 '국제 PWR & BWR SF의 조사후 분석 등' 연구협력체에 참여하여 왔으며, 주도적으로 연구자료를 생산하여 왔다. 특히, 해당 자료(SFCOMPO)는 OECD/NEA의 참여국이 활용할 수 있도록 공개하고 있다. 특히, 일본은 JNES에서 개발한 '통합적 감쇠계산 코드(MVP-ORBURN, 본 코드는 몬테카를로 기법과 상용코드인 'ORIGEN2'를 기반으로함)'를 바탕으로 SF의 선원항에 대한 정확한 예측과 안정규정에 부합하는 임계안전성 해석평가에 방법 및 가상평가에 결과를 제시하고 있다. 또한, SF의 모델링의 경우 핵연료집합체의 불균질한 구성/조성과 제어봉 등을 포함하고 있으며, 최근의 핵자료를 바탕으로 하고 있다. 본 코드를 활용하여 계산한 자료와 PWR SF의 실험적 자료를 비교한 결과는 주요 Actinide 핵종에 대해서는 약 10%이하로 나타났다. 그러나 BWR 사용후연료에 대해서는 몇몇 Actinide 핵종에 약 15%이상의 차이가 발생하여 향후 보완이 필요함을 제시하고 있다.[8]

3. 결론

본 연구를 통하여 국내 BUC 관련기술 개발 시 Actinide에 대한 고려는 필수적인 것으로 판단되며, 더불어 일본 등과 같이 국제적 협력을 통해 그 타당성과 신뢰성을 입증해야 할 것이다. 특히, 미국의 경우 최고 30%의 운반/저장용량을 증가시킬 수 있음을 제시하여 다양한 Vendor들이 연구개발을 추진하고 있으며, 운반의 경우 운반횟수를 감소함으로써 비용절감(경제적 효과)을 기대할 수 있을 것이다. 하지만, 이는 핵입계 안전성 측면만 고려한 것으로 BUC의 실질적 효용성을 예측하기 위해서는 '그 외의 안전성 측면(구조적/열적 건전성)'에 대한 기술기준 만족여부와 '엔지니어링 측면(바스켓의 제작성 등)'을 고려한 '중합적 안전성 평가'가 이루어져야 하며, 이를 통하여 국내 SF 수송/저장 시스템에 BUC적용의 타당성에 대한 평가가 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김종경 외, 방사성폐기물 규제기술 개발 - 경수로 사용후핵연료 건식저장 시설 안전성 해석 방법에 관한 연구, KINS/HR-782 (2007)
- [2] Advances in Applications of BUC to Enhance SF Transportation, Storage, Reprocessing and Disposition, IAEA-TECDOC-1547 (2007)
- [3] Dale Lancaster, 2005 Status and future of BUC in the USA (2005)
- [4] J. C. Wagner, Evaluation of BUC for Accommodating PWR Spent Fuel in High-capacity Cask Design, ICNC2003 (2003)
- [5] StoreFuel, Vol9. No.99 (2006)
- [6] Certification of Compliance for Radioactive Material Packages, DOCKET NUMBER 71-9261, 2006
- [7] A Burn-up Credit concept for CASTOR® Transport and Storage Casks with PWR Spent Fuel, D.Winterhagen, 2005
- [8] Intergrated Depletion code MVP-ORBURN ; Development, validation and application study to the burn-up credit, T.Nakata, 2005