

소외수송을 위한 중수로 사용후핵연료 적재방안

이호희, 송대용, 권은하, 고원일, 최병일*, 김동선*
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 150
 *한국수력원자력(주), 서울시 강남구 삼성동 167
 nhhle@kaeri.re.kr

1. 서론

국내에는 4기의 중수로가 운전 중에 있고, 각 호기 당 연간 약 97tU(이하 '톤')의 사용후핵연료가 발생되고 있다. 2008년 6월 말 기준으로 5,282톤의 사용후핵연료가 발생되어 저장수조에 2,640톤, 소내 건식저장시설인 콘크리트 캐니스터에 2,642톤이 이송·저장되어 있다. 원전의 저장용량은 2008년 6월 말 기준으로 저장수조 3,204톤(확장계획 285톤 포함), 콘크리트 캐니스터 3,061톤으로서 2009년이면 포화상태에 이를 것으로 예상되어 현재 MACSTOR/KN-400으로 명명된 조밀 건식저장시설(저장용량 3,175 톤)이 건설 중에 있으며, 2009년 말 완공할 예정이다. 건설 중인 조밀 건식저장시설이 완공되면 총 저장 용량은 9,440톤에 이르며, 이는 2018년까지 발생하는 중수로 사용후핵연료 모두를 저장할 수 있다. 원전의 수명기간을 40년으로 가정할 때 폐로 시까지 발생하는 중수로 사용후핵연료의 총량은 약 16,000톤에 이를 전망이다. 본 논문에서는 국내 사용후핵연료 발생량의 약 1/3~1/2를 차지하는 중수로 사용후핵연료의 소외수송을 전제로 원전의 사용후핵연료 적재시스템을 분석하여 향후 사용후핵연료 소외수송 기반 확보의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

2. 중수로 사용후핵연료 적재시스템 분석

사용후핵연료를 소외수송하기 위해서는 원전에서 사용후핵연료를 수송용기에 적재하여 반출하여야 한다. 현재 중수로 사용후핵연료는 저장수조와 건식저장시설인 콘크리트 캐니스터에 저장되어 있으며, 추가로 건설 중인 조밀 건식저장시설인 MACSTOR/KN-400이 2009년 말부터 운영될 예정이다. 이에 따라 소외수송시점에서는 저장수조와 건식저장시설인 콘크리트 캐니스터 및 MACSTOR/KN-400에 저장되어 있는 사용후핵연료의 반출을 고려하여 수송시스템을 구축하여야 한다. 다행히 건식저장시설인 콘크리트 캐니스터 및 MACSTOR/KN-400은 동일한 Basket(60 다발용량)을 사용하고 있어 수송용기 및 반출시스템을 구축하기가 용이하다. 소외수송을 위해 중수로 사용후핵연료를 수송용기에 적재하는 방법은 습식과 건식 방법을 모두 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 습식적재의 경우에는 적재조의 높이가 낮아 수송용기 당 사용후핵연료 적재량에 제한을 받을 뿐 아니라 제염 등 여러 가지 복잡한 작업이 수반된다. 또한, 습식 적재를 위해서는 취급 설비의 보완이 필요하고, 건식적재와 혼용운용이 불가피하다. 이러한 습식 적재의 문제점과 건식저장시설을 운영하고 있는 점을 고려할 때 중수로 원전의 사용후핵연료 적재 및 반출 시스템은 현재 사용 중인 60다발 용량의 Basket 단위로 취급하는 건식 적재방식이 바람직하다고 생각된다.

사용후핵연료의 소외수송에서 수송용기의 선정은 매우 중요하다. 대량의 중수로 사용후핵연료를 수송하기 위한 수송용기 특히, 다량의 Basket를 적재할 수 있는 수송용기는 현재 개발되어 있지 않아 9개의 Basket을 적재할 수 있는 수송용기를 개발한다고 가정하였으며, 수송용기 개념도

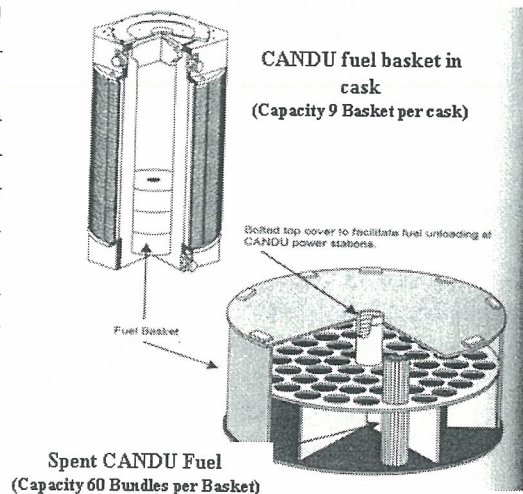


그림 1. 수송용기 개념도.

를 그림 1에 제시하였다. 또한 이 수송용기는 사용후핵연료를 지지하는 내부 구조물이 불필요하고, 중수로 사용후핵연료는 경수로에 비해 상대적으로 방사능 및 붕괴열도 적으므로 수송용기 구조도 단순해지고 무게도 가벼워질 수 있다.

원전에서 소외수송을 위해 Basket 단위로 사용후핵연료를 수송용기에 적재하려면, 건식저장시설로 운반하여 저장하는 작업과 유사한 작업을 수행하여야 한다. 즉, 수직으로 세워진 수송용기를 콘크리트 캐니스터라고 간주하면 된다. 가장 간단한 적재 및 반출 작업순서는 다음과 같다. 우선 수평으로 운반된 수송용기를 수직상태로 세워 정지시키고, 적절한 작업대와 설비를 수송용기 상부에 설치한 후 수송용기 뚜껑을 연다. 다음에 수송용기 상부에 1 Basket를 적재한 수송용기(현재 원전에서 사용 중인 1 Basket용 Flask)를 안치시켜 Basket를 하역한 후 Flask를 분리하고 소외 수송용기 뚜껑을 잠시 닫는다. 이러한 작업을 9회 반복한 후 소외수송용기 뚜껑을 볼트로 밀봉한 후 수송용기를 수평으로 눕혀 수송차량에 적재하여 임시저장구역으로 운반하면 작업이 완료된다. 그러나 이러한 적재 및 반출 시스템은 연속 작업 시 작업 안전성에 다소 문제가 발생할 수 있으므로, 작업자 안전 확보와 작업 편리성을 갖춘 새로운 적재 및 반출시스템을 구축하는 것이 바람직하다고 생각한다.

제안하는 사용후핵연료 적재 및 반출시스템은 간단한 구조의 Truck Bay, Cask Preparation Area, 수송용기 접속구역 및 부대설비로 구성된다. Truck Bay에서는 소내외 수송용기 반입 및 반출, 소외 수송용기를 수평상태에서 수직상태로 또는 수직상태에서 수평상태로 Tilting, 수송용기를 적재 준비구역 또는 반출 준비구역으로 운반 등의 작업이 수행된다. Cask Preparation Area에서는 소외 수송용기의 기밀시험, Basket 결합시험, 수송용기 외부뚜껑제거, 핫셀 접속용 Adaptor 부착 및 핫셀 접속 구역으로 운반 작업이 수행된다. 수송용기 핫셀 접속구역에서는 소외 수송용기 핫셀 접속 및 분리, 접속 수송용기 기밀시험, 소외 수송용기 Plug 제거 및 설치, 소내 수송용기 접속 및 분리(9회 반복), 소내 수송용기로부터 Basket를 하역하여 소외 수송용기에 적재(9회 반복) 등의 작업이 수행된다. 수송용기 핫셀 접속구역에서 중수로 사용후핵연료의 수송용기 적재 개념은 그림 2에 나타낸 바와 같다.

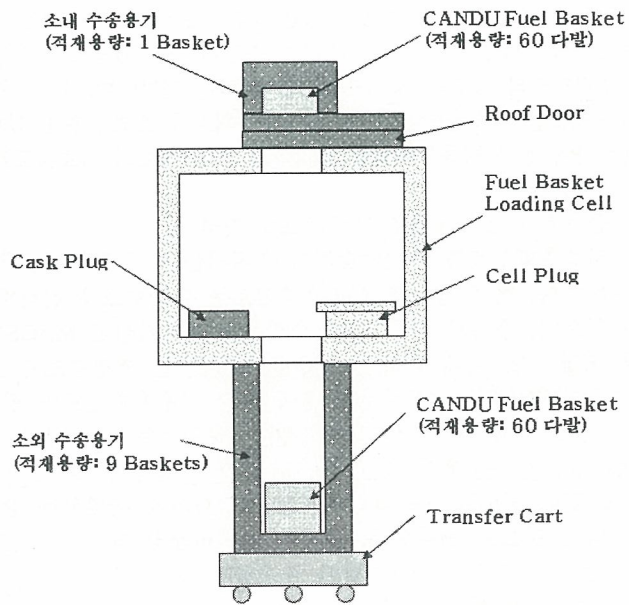


그림 2. 중수로 사용후핵연료 적재 개념도.

3. 결론

현재 운영 중인 4기의 중수로에서 페로 시까지 약 16,000톤의 사용후핵연료가 발생될 전망이며, 현재 건설 중인 MACSTOR/KN-400을 포함하여 원전의 저장용량은 9,440톤에 불과하므로 저장용량은 2018년경이면 포화상태에 도달할 것으로 예상된다. 원전의 안전 운전을 보장하기 위해서는 저장용량을 확충하거나 저장된 사용후핵연료를 다른 시설로 운반하여야 한다. 본 논문에서는 중수로 사용후핵연료의 소외수송을 가정하여 수송용기의 개념과 사용후핵연료 적재 및 반출시스템의 개념을 제시하였다. 현 상태에서는 아이디어 수준이므로 향후 구체적인 검토를 거쳐 사용후핵연료 소외수송이 가시화될 때 적용될 수 있길 기대한다.

사사

본 연구는 한국수력원자력(주)의 위탁과제(과제명 : 사용후핵연료 소외수송 방안분석/연구기간: 2008. 8. 1~ 2008. 12.31)로 한국원자력연구원에서 수행 중에 있음.