

울진1호기 17주기 재사용 핵연료에 대한 초음파 세정 결과

박종열, 신중철, 김순기, 김용찬, 양승태*, 강신섭**, 김준곤**, 윤재황**
 한진원자력연료주식회사, 대전광역시 유성구 덕진동 493

* 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

** 한국수력원자력(주) 울진원자력본부, 경상북도 울진군 북면 부구리 84-4

1. 개요

국내 원전운영자인 한수원(주)는 2012년 울진1/2호기의 노후화된 증기발생기를 신형으로 교체하면서 작업중사자에 대한 방사선 피폭선량을 저감하고자 울진1호기 17주기 운전중 미량의 아연(Zn)을 원자로 냉각계통에 주입할 예정이다. 해외 원전의 경우 아연주입 최초 주기에서 핵연료 표면에 방사성부식생성물(일명 CRUD)의 침착이 증가되는 사례가 있어 축방향출력불균형(AOA) 유발인자이자 계통내 선량선원인 크러드를 제거할 필요성이 제기되었다. 이에 따라 지난 2009년 3월초 울진1호기 제16차 계획예방정비기간중 17주기 재사용연료(17×17 RFA연료) 총89다발(1회연소연료 64다발, 2회연소연료 25다발)에 대한 초음파세정을 실시하여 약 300 R/hr.filter의 선량과 1.3kg의 크러드를 제거하였다.

2. 초음파 세정장비

크러드 초음파 세정장비(Ultrasonic Fuel Cleaning System)는 핵연료가 장입되는 2개의 원통형 챔버(Dual Chamber)와 챔버에서 초음파에너지에 의하여 핵연료에서 분리된 크러드를 필터로 포집하는 크러드 포집장치(Filtration Skid)로 구성되어 있다(그림 1. 참조). 크러드 초음파 세정장비는 핵연료가 완전히 장입되는 2개의 원통형 챔버와 챔버내부 상부 4개면에 핵연료집합체의 축방향으로 장착된 총 10개의 초음파발진기가 1,500W의 초음파에너지를 발생시켜 크러드를 제거하게 된다. 이때 분리된 크러드는 흡입호스를 경유하여 0.5 μ m정도 크기의 크러드입자를 여과할 수 있는 필터로 포집된다. 포집장치는 총2대의 펌프와 8개의 필터용기, 온도와 압력측정용 계측기 그리고 크러드 세정작업 중 크러드세정 진행여부를 감시하는 2종의 방사선계측기, 필터 유입부에서의 크러드 시료를 채취할 수 있는 시료채취 시스템으로 구성되어 있으며, 실제 크러드 제거 작업 시에는 1개의 펌프와 4개의 필터 용기만 운전하게 된다.

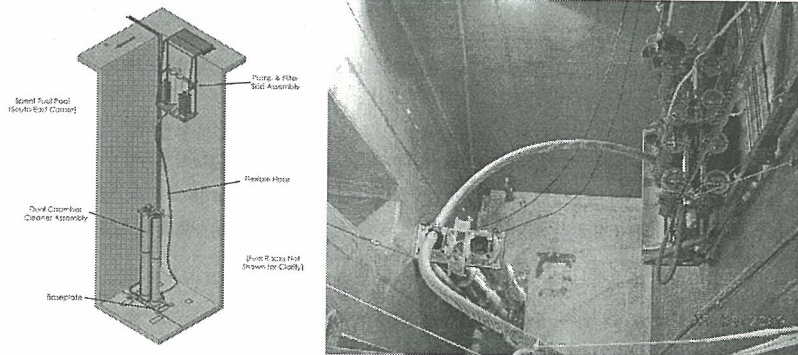


그림1. 크러드 초음파 세정장비 개념도(좌) 및 울진1호기 CLP에 설치된 크러드 초음파 세정장비(우)

3. 초음파 세정 결과

3.1 제거된 선량

울진1호기 17주기 재장전연료 89다발(1회 연소연료 64다발, 2회 연소연료 25다발)에 대한 초음파세정 작업공정은 크게 핵연료이송, 연료검사, 초음파세정, 연료검사 및 이송으로 이루어졌으며 핵연료 1다발당 평균 30분내외가 소요되었다. 이때 초음파 세정시간은 연료 1다발당 6분~10분을 적용하였으며, 초음파에너지 발생 초기 5분 이내에 핵연료의 표면에서 대부분의 크러드가 제거되는 것으로 방사선계측기에 의하여 모니터링 되었다.

총 89다발의 핵연료에서 제거된 크러드는 선량기준으로 약 300R/hr.filter 정도인 것으로 평가되었고,

이때 포집필터는 총 4개가 사용되었다. 제거된 선량의 분포는 1회 연소연료의 경우 0.6~2.1R/hr.filter(평균 1.13R/hr.filter), 2회 연소연료는 4.2~21.4R/hr.filter(평균 8.83R/hr.filter) 범위에 있었다. 초음파 세정후의 핵연료에 대한 정밀 육안검사 결과, 핵연료의 건전성에 미치는 이상 징후는 발견되지 않았다.

초음파세정과정에서 사용된 총 4개의 포집필터는 울진1호기 사용후연료저장조에 임시보관 후 방사선량이 처리 가능한 적정수준이하로 감소된 이후 별도 처리할 예정이다.

3.2 크러드 세정효율 평가

핵연료의 크러드 세정효율을 평가하는 방법은 Crud scrape 방법, 육안평가(Visual inspection) 방법, 크러드 무게측정 방법 등 크게 3가지 방법으로 분류할 수 있으며 본 논문에서는 평가의 간편성과 효율적인 측면에서 육안평가 방법과 크러드 무게측정 방법을 채택하였다.

육안평가 방법은 17×17 RFA 연료의 4번 지지격자에서 7번 지지격자사이의 녹화영상에서 초음파세정 전후의 색상변화의 비율을 비교하여 평가한다. 육안평가 결과, 1회 연소연료는 약 10%~30%, 2회 연소연료는 약 70~80% 정도로 평가되었다(그림2 참조).

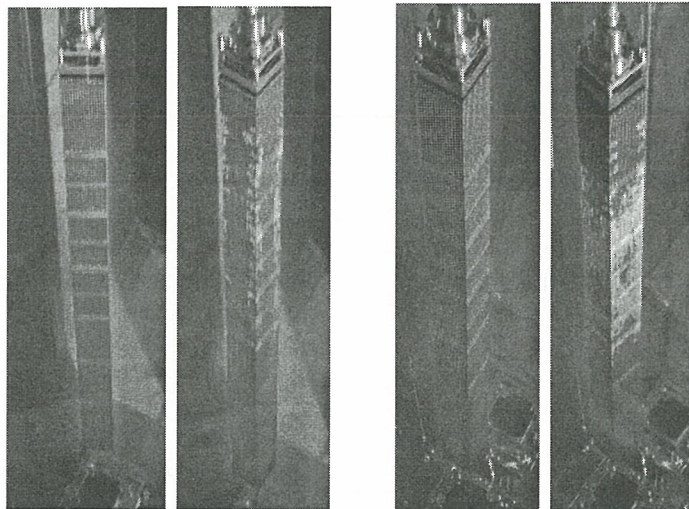


그림2. 크러드 초음파세정 전후 비교(S55 좌측2개) 및(R19 우측2개)

한편, 육안검사 및 Crud scrape 방법은 세정효율을 평가하는데 핵연료집합체 외부만을 주된 대상으로 하므로 핵연료집합체 내·외부의 전체적인 크러드 제거효율을 평가하고자 포집필터에 축적된 크러드 무게를 측정하였다. 총 89다발에 대한 크러드 세정작업 완료 후 사용된 총 4개의 필터에서 초음파세정 전후의 무게차이를 측정된 결과, 총1.3kg 정도의 크러드가 제거된 것으로 평가되었다.

4. 결론

울진1호기17주기 제사용연료 89다발에 대한 핵연료 크러드 초음파세정을 성공적으로 완료하였다. 핵연료 크러드 초음파세정은 핵연료 피복관에 침적된 방사성부식생성물 즉, 방사선 방출선원 및 축방향노심출력불균형(AOA) 유발인자인 크러드를 사전에 제거함으로써 원자로계통내 방사선량을 저감하고 축방향노심출력불균형(AOA) 현상발생의 억제라는 긍정적인 효과를 기대할 수 있게 되었다.

5. 참고문헌

- 1) 저자, “축방향출력불균형 방지를 위한 크러드 제거 기술개발 최종보고서” 보고서 Number, 2007.5.