

영광 1호기 핵연료 초음파 세정 시범적용 결과

이두호, 강덕원, 박종열*, 김용찬*

한전전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65

*한전원자력연료주식회사, 대전광역시 유성구 덕진동 493

mercuri@kepri.re.kr

1. 서론

원전 운영상의 경제성 향상을 위해 장주기, 고출력, 고연소도 운전 방식이 선호되면서 축방향 출력불균형(AOA: Axial Offset Anomaly) 현상의 발생이 국내 원전에서도 현안문제로 부각되고 있다. 이를 효과적으로 예방하기 위한 수단으로 핵연료 크러드를 초음파를 이용해 제거하는 방안이 미국을 중심으로 적극 활용되는 추세이다. 국내에서도 한전원자력연료가 주관이 되어 핵연료 크러드 제거장비의 개발이 완료되어 2007년 9월 4일부터 10월 16일까지 영광 1호기 수송용기적재조(CLP: Cask Loading Pit)에서 재장전 연료 16다발을 대상으로 핵연료 초음파 세정 시범적용을 실시하게 되었다. 본 논문에서는 동 기간 동안 수행된 핵연료 초음파 세정 시범적용 결과에 대해 소개하고자 한다.

2. 수행 결과

핵연료 초음파 세정장비는 크게 핵연료 초음파 세정조와 핵연료 크러드 포집장치로 구분된다. 핵연료 초음파 세정조는 한전원자력연료주식회사가, 핵연료 크러드 포집장치는 한전전력연구원이 개발을 담당하였다. 2007년 9월 4일부터 26일까지 장비 이동 및 성능 점검과 더불어 영광 1호기 수송용기적재조 내에 핵연료 이동 시간 및 fuel bridge 동선을 고려하여 핵연료 초음파 세정장비를 배치하였다(그림 1 참조). AOA 예측 프로그램 결과를 근거로 손상 징후가 없는 연료 중 크러드 침적량이 높게 예측되는 연료 16다발(1회 연소된 연료 8다발, 2회 연소된 연료 8다발)을 선정하여 2007년 9월 27일부터 28일, 양일간에 걸쳐 핵연료 초음파 세정을 실시하였다. 연료 1다발당 6~8분 동안 초음파로 세정하였으며, 세정 효과의 육안 관찰을 위해 세정 전후의 연료 다발 표면을 비디오로 녹화하였다(그림 2 참조). 또한 핵연료 크러드 포집장치 배관의 선량을 변화를 연속적으로 측정하여 초음파 세정이 진행되는 과정을 모니터링하였고, 필터 선량율과 차압을 측정하여 필터 교체여부를 판단하였다.

출력과 온도가 상대적으로 높은 연료 상단부에 크러드가 가장 많이 침적되는 것을 고려하여 초음파 발전기를 초음파 세정조 상단에만 설치하였으므로 크러드 제거효과는 핵연료 집합체 상부에서만 관찰되었다. 크러드 제거량과 육안 검사 결과를 토대로 종합적으로 판단하였을 때 1회 및 2회 연소된 핵연료 집합체 모두 80% 이상의 세정 효율을 보인 것으로 나타났다. 초음파 세정 전후의 연료에 대한 정밀 육안검사를 수행한 결과 연료의 건전성에 이상 징후는 발견되지 않았으며, 세정 완료된 핵연료 집합체는 2007년 10월부터 영광1호기 18주기 노심에 장전되어 연소 중이며 현재까지 연료 손상징후 없이 연소 중임을 고려할 때 초음파 세정에 따른 연료 건전성에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다. 초음파의 세정에 의해 핵연료 집합체에서 분리되어 나온 크러드를 포집한 필터의 선량율을 관찰한 결과, 1회 연소된 핵연료 집합체의 경우 핵연료 집합체 1개당 3.3~4.8 R/hr/filter, 2회 연소된 핵연료 집합체의 경우 핵연료 집합체 1개당 21.0~26.7 R/hr/filter 만큼 증가되었다. 초음파 세정 과정에서 크러드 포집장치 펌프와 필터 연결 배관부 선량율의 최대값은 1회 연소된 핵연료 집합체의 경우 180~210 mR/hr, 2회 연소된 핵연료 집합체의 경우 900~1000 mR/hr를 나타내었다. 16다발의 핵연료 초음파 세정이 완료된 후 필터 차압은 0.3 psid 정도 증가되었다. 16다발의 초음파 세정이 완료된 후 필터의 선량율은 평균 200 R/hr 수준을 나타내었으며, 사용 완료된 필터는 사용후 연료 저장조(SFP: Spent Fuel Pool) 랙에 임시 보관한 후 처리기로 하였다.

이상 영광 1호기 수송용기계적제조에서 1회 및 2회 연소된 연료 16다발을 대상으로 초음파 세정을 수행하여 크러드 세정 공정의 안전성 및 크러드 세정장비 전반에 대한 성능에 대한 확인 작업을 성공적으로 완료하였다.

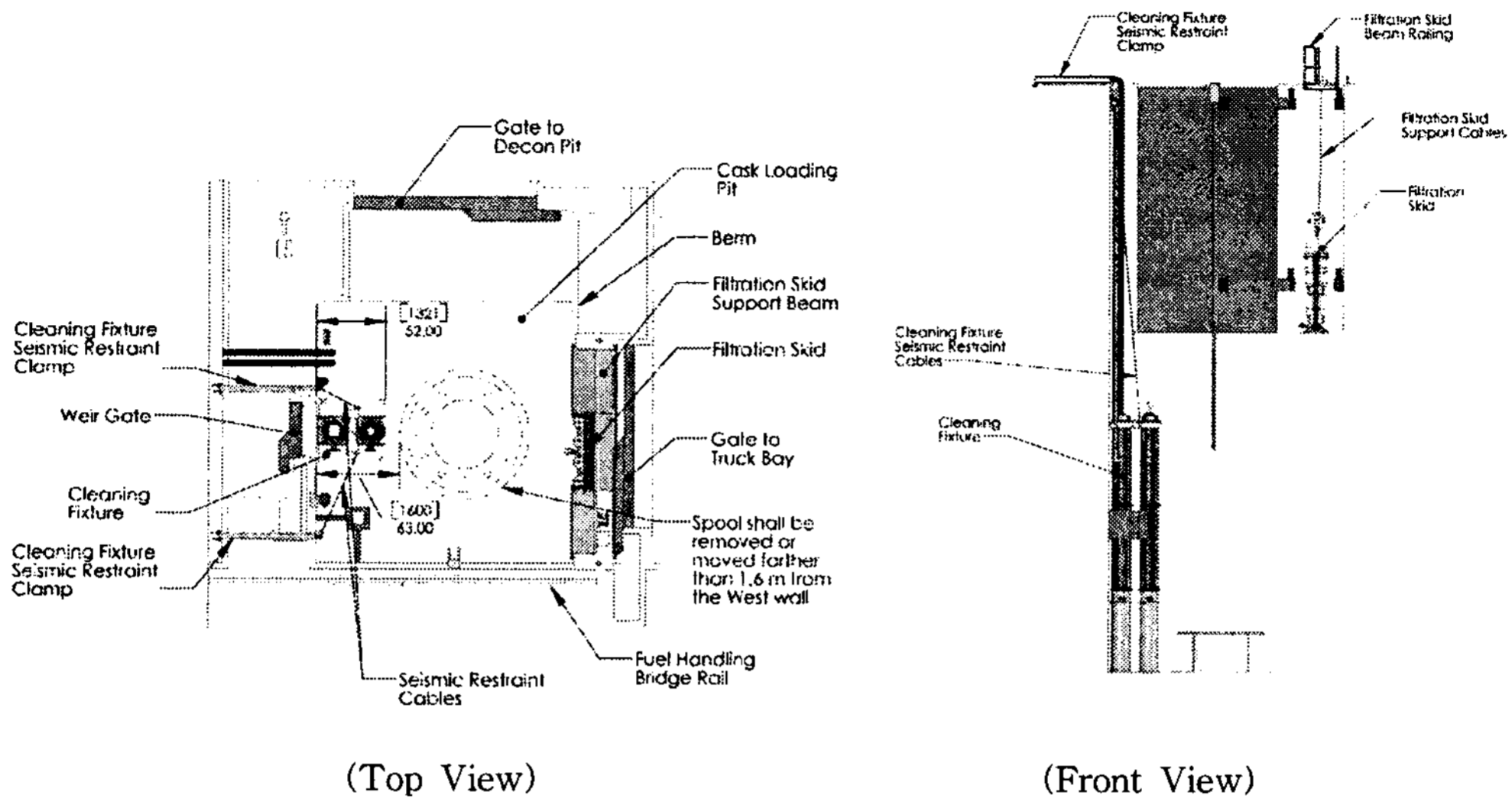


Fig 1. UFC Equipment Installation in YGN-1 Cask Loading Pit

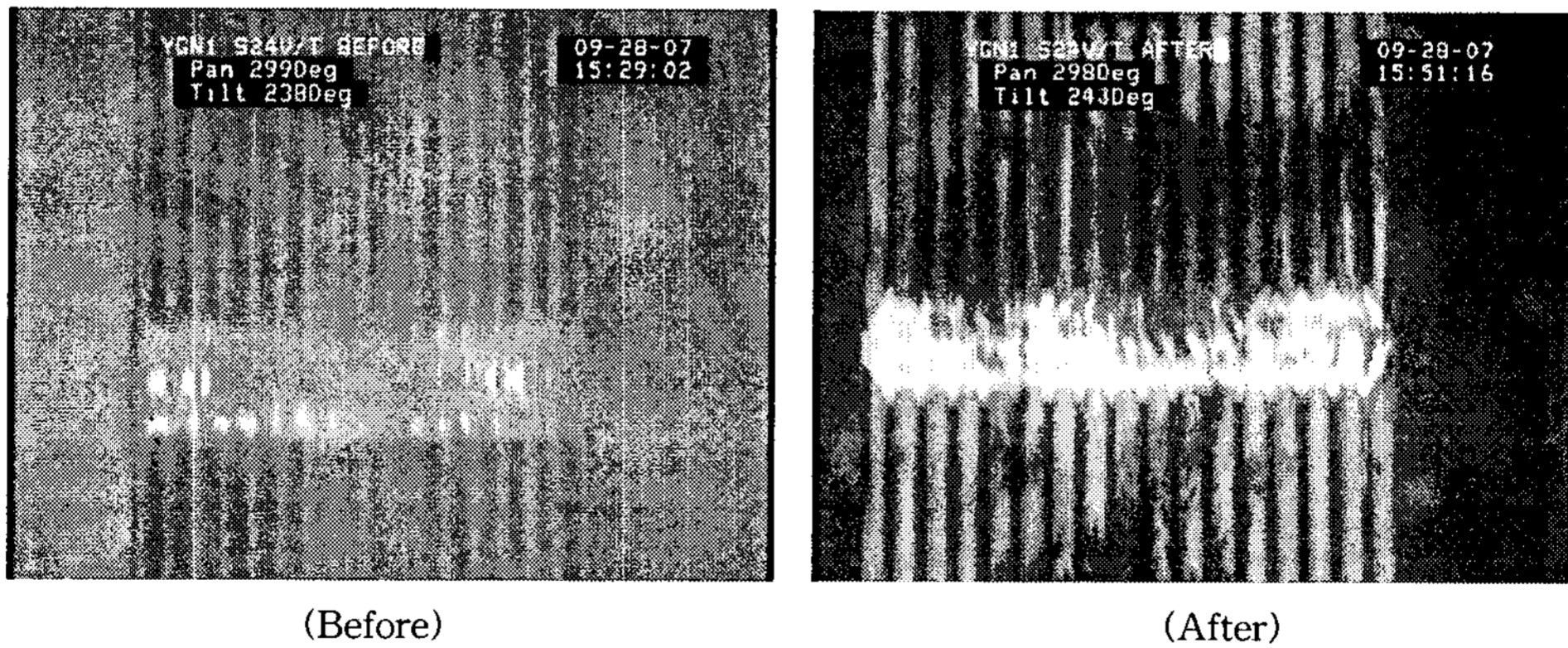


Fig 2. Appearance of Twice-Burned Fuel Assembly before and after Cleaning

3. 결론

영광 1호기에 수행한 핵연료 초음파 세정 시범적용을 통해 재장전 연료 16다발에 대한 초음파 세정을 성공적으로 완료하였다. 국내에서도 핵연료 초음파 세정을 통해 핵연료 크러드 재고량을 감소시킬 수 있는 기술적 대안이 마련됨에 따라 축방향 출력불균형 현상의 발생 억제와 발전소 선량을 저감 측면의 긍정적 효과가 기대된다.