

# 원전연료 크러드 초음파 세정

● 생산관리처

김상우  
T. 042-868-1906  
E. swkim@knfc.co.kr

경수로 원전의 증기발생기 교체 또는 아연 주입 시 계통의 기존 산화막 내에 존재하는 방사성물질 등과 치환반응을 일으켜 연료에 부식성물질 침적이 증가되어 비정상 축방향 출력 분포(AOA : Axial Offset Anomaly)가 발생할 수 있음. 초음파를 이용한 원전연료 크러드세정은 이러한 문제를 방지하고 노심안정성을 확보할 수 있는 기술임.

## 기술 내용

### \* 배경

- AOA란 발전소 운전 중 노심 상부의 축방향 출력 분포가 비정상적으로 찌그러지는 현상임. AOA는 중성자 흡수물질(LiBO<sub>2</sub>)이 크러드(CRUD, Chalk River Unidentified Deposit) 형태로 연료에 침적되어 발생되며 피복관의 열전도도 저하를 일으킴. 크러드는 계통 내 부식성물질로서 주로 철 니켈 크롬 등의 금속산화물로 이루어져 있음.
- 이러한 현상은 증기발생기 교체, 아연주입, 연료의 장주기·고연소 등으로 인해 더욱 심화될 수 있으며, AOA가 발생할 경우 출력감발, 발전소 조기정지, 조기 연료방출 등의 조치가 필요할 수 있음. 또한, 계통 내 방사화된 크러드 증가로 인한 작업자의 방사선 피폭이 증가하는 등 발전소의 안전성 및 경제성에 많은 영향을 미칠 수 있음.

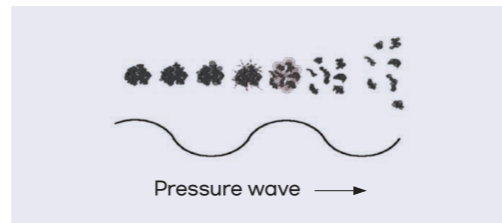
### \* 목적 및 필요성

- AOA에 대한 대비책으로 크러드 발생을 예측, 완화 및 방지하는 방안 등이 연구되고 있으며 그 중

에서 크러드를 물리적으로 제거하는 초음파를 이용한 원전연료 크러드세정 기술이 개발되었음. 초음파를 이용한 재장전연료 크러드세정을 통해 노심안정성을 확보하여 AOA를 방지할 수 있음.

### \* 크러드 초음파세정 원리

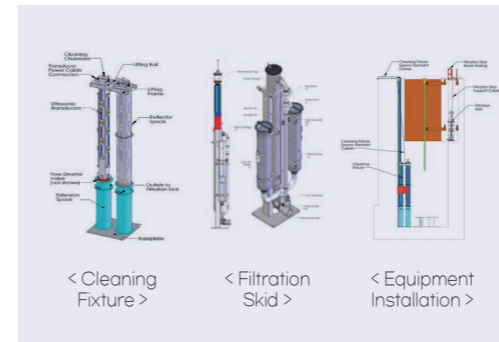
- 수중에서 발생된 초음파는 감압과 증압을 반복하여 공동현상이 일어나 미세한 기포를 생성하며, 이때 크러드 내부에 생성된 미세기포는 일정 압력 이상에서 수축 폭발함. 이를 통해 크러드는 작은 조각으로 분리되어 연료표면에서 박리되며 박리된 크러드를 필터에 포집함으로써 계통 내 유입을 방지함.



### \* 크러드 세정장비 구성

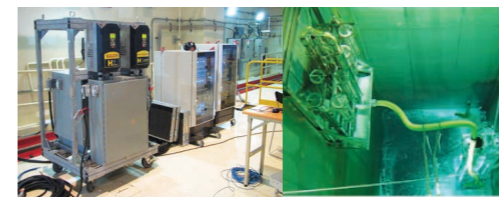
- 크러드 세정장비는 크러드 세정장비 본체(Cleaning Fixture)와 크러드 포집장치(Filtration Skid)로 구성되며, 초음파발전기 시스템(Transducer System)에서 발생하는 초음파에 의해 크러드가 제거되고, 제거된 크러드는 크러드 제거장비의 배출 배관과 포집장치 간에 연결된 호스를 통하여 포집장치로 이동됨.
- 크러드 세정장비 본체는 2개의 챔버(Chamber)로 구성되어 있으며, 각 챔버당 1다발의 핵연료를 장착하여 크러드를 제거할 수 있도록 설계됨. 또한 제어장치(Control Module)도 Dual System으로 구성되어 있어 크러드세정 수행 시 하나가 고장 나더라도 지연 없이 다른 장비로 세정이 가능하게 설계되었음.

- 크러드 포집장치는 크러드세정 장비 본체와 호스로 연결되어 있으며, 초음파에 의해 분리된 크러드는 필터로 포집됨. 포집장치는 펌프와 필터 하우징으로 구성되며, 계측기를 통해 온도, 압력, 유량 및 필터의 방사선량을 측정할 수 있음.

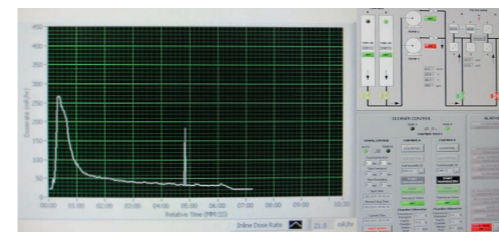


### \* 크러드 세정장비 제어장치

- 크러드 세정장비의 제어장치는 크러드 세정장비 본체와 포집장치를 제어할 수 있는 프로그램을 포함하며 크러드세정 프로그램은 온도와 압력 및 유량을 계측하여 작업자가 실시간으로 확인할 수 있게 설계되었음. 필요에 따라 위의 변수를 조절하여 운전 조건을 절차에 맞게 변경할 수 있으며, 필터의 방사선량 변화를 통해 집합체별 포집된 크러드의 방사선량을 확인할 수 있음.



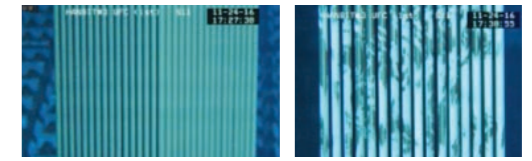
< Cleaning Equipment on ground and underwater >



< Ultrasonic Fuel Cleaning Program >

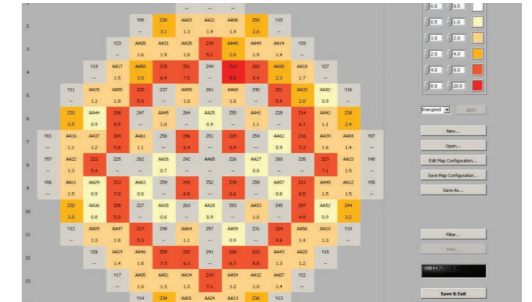
### \* 크러드세정 결과물

- 크러드세정 전·후 상태를 수중카메라를 이용하여 크러드세정 정도와 세정 효율을 분석할 수 있음. 또한, 크러드 포집량, 필터 방사선량 및 핵연료별 방사선량 분석을 통해 정량적인 결과를 확인할 수 있으며, AOA 발생 여부를 예측하는데 활용함.



< Before cleaning >  
Crud is uniformly deposited on fuel

< After cleaning >  
Crud removed by ultrasonic cleaning



< Core CRUD Map > Filter dose rate of each fuel

## 기술 우수성

### \* 기술특징

- 핵연료의 기계적 건전성 규제요건을 만족
- Dual System 장비 운영으로 안정성 확보 및 오버홀 공정 지연 없이 세정가능
- 원전 증기발생기 교체 또는 아연주입 등의 의무와 연동 가능
- 국내·외 다수의 크러드세정 경험으로 장비운영의 안전성 및 세정효과 입증 완료

### \* 기대효과

- 경수로 원전 AOA 발생 위험도 저감
- 핵연료 건전성 제고
- 계통 내 방사선작업종사자 피폭방사선량 저감

## 기술 적용현황

- 국내 경수로형 원자력발전소를 대상으로 총 19회 크러드세정 수행(21년 6월 현재)
- 동 기술은 미국, 스페인 등 해외에서 활용 중

## 제공 가능 품목

- 크러드세정 용역 수행
- 크러드세정 평가보고서
- 노심안정성 평가보고서

## 기술완성도 (TRL)

- 양산 및 초기시장 진입

## 사업 방향

기술 이전

라이선싱

공동 연구

용역 수행

기타