

KNF-  
SF-01

# 핵연료 연소성능검사 (PSE)

생산관리처

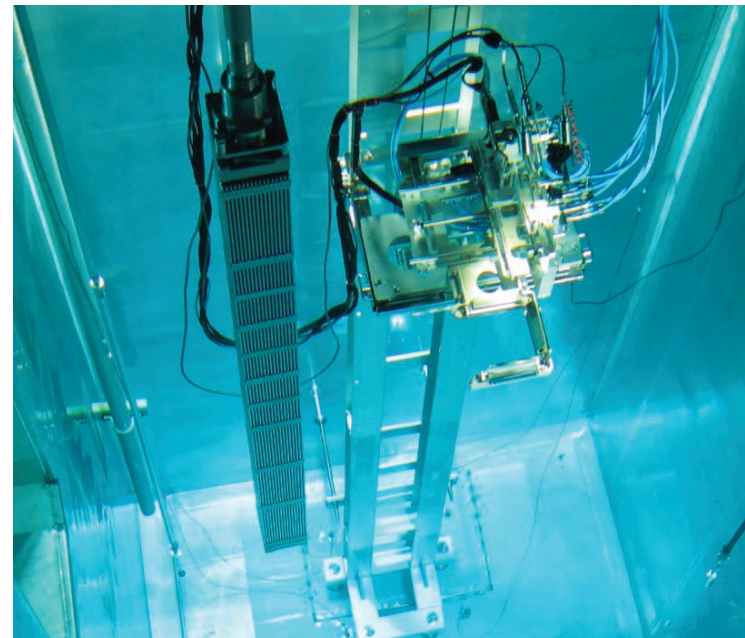
이영도

T. 042-868-1889

E. leeyd

@knfc.co.kr

핵연료가 원자로에서 연소되는 과정에서 높은 온도와 압력에서 핵분열하는 동안 중성자 조사에 의해 형상이 변형됨. PSE(Poolside Examination) 검사는 연소된 핵연료 및 연료봉의 변형과 변화를 측정하여 노내 연소성능을 평가하기 위한 방법임. PSE 검사는 영상 이미지 분석으로 집합체의 제원과 변형상태를 측정하고, 직접측정방법인 LVDT(Linear Variable Differential Transducer) 기법으로 지지격자 폭과 연료봉 직경을 측정함. 또한, ECT(Eddy Current Technique Instrument) 기법으로 연료봉 피복관의 산화막 두께 등을 측정함.



## 기술 내용

### \* 목적 및 필요성

• PSE 검사는 핵연료의 노내 연소성능에 대한 신뢰성 입증과 핵연료 설계코드 및 모델의 적합성 검증 그리고 핵연료 개발에 필수적인 노내 연소성능 자료를 생산하여 설계 및 제조에 반영하는데 필요함.

### \* 검사 항목

- 제원측정은 집합체 조사성장, 연료봉 조사성장, 집합체 휨·비틀림, 연료봉 휨 측정으로 구분함.
  - **집합체 조사성장**: 집합체 길이변화에 대하여 엔코더를 이용하여 조사된 집합체 길이를 평가
  - **연료봉 조사성장**: 연료봉의 상단부와 상단고정체 간의 간격을 영상으로 저장하며, 영상 이미지 분석으로 측정값을 산출하여 조사된 연료봉 길이를 평가
  - **집합체 휨**: 연료봉 상단부와 하단부 사이에 있는 각 지지격자에 대해 휨 상태를 영상으로 저장하며, 저장된 영상 이미지 분석으로 측정값을 산출하여 집합체의 휨를 평가
  - **집합체 비틀림**: 상단고정체와 하단고정체 간의 비틀림 각도를 영상으로 저장하며, 영상 이미지 분석으로 변형된 집합체 비틀림을 평가
  - **연료봉 휨**: 각 연료봉의 간격을 영상으로 저장하며, 영상 이미지 분석으로 조사된 연료봉의 휨를 평가

### \* 지지격자폭 측정

- 지지격자폭 측정은 지지격자에 장비의 죠(Jaw)를 근접시켜 측정한다. 측정은 양쪽에 있는 죠(Jaw) 사이에 지지격자를 삽입한 상태에서 죠(Jaw)의 간격 거리를 전압(voltage)으로 변환하는 LVDT 기술을 이용함.

### \* 연료봉 직경 측정

- 연료봉 직경은 집합체의 외곽 연료봉을 2개의 핑거로 된 프로브 사이에 삽입한 상태에서 측정이 진행되며 연료봉이 삽입된 프로브의 거리 값을 전압(voltage)으로 변환하는 LVDT 기술을 이용함.

### \* 산화막두께 측정

- 연료봉 피복관의 산화막 두께 측정은 산화막 측정 프로브가 집합체의 연료봉과 연료봉 사이를 통과 하면서 진행됨. 프로브는 연료봉 사이를 이동하면서 연료봉의 피복관 표면에 접촉하게 되며 이 순간 프로브 코일의 임피던스 변화를 감지하여 산화막 두께값을 도출함.

### \* 장비 구성

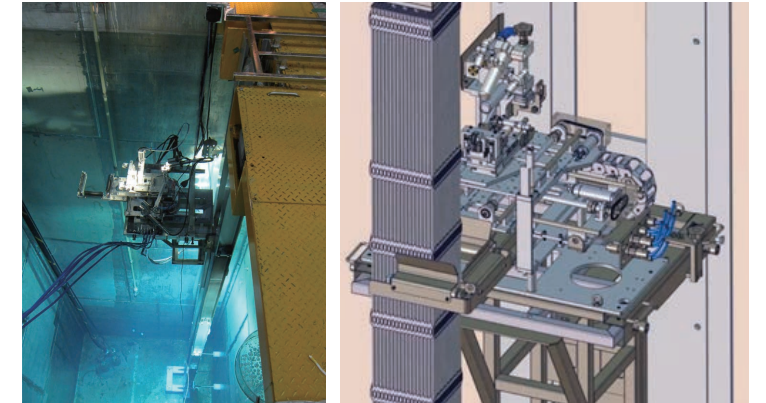
PSE 장비는 메니플레이터와 이를 제어하고 운용하는 프로그램이 포함된 제어시스템으로 구분됨.

### \* 메니플레이터

- 메니플레이터 장치는 X-Y-Z 방향으로 이동할 수 있으며 핵연료와 직접 접촉하며 장치에 부착된 카메라를 이용하여 영상자료를 얻을 수 있음.
- 핵연료 검사는 기본적으로 X-Y 검사테이블에 탑재된 여러 장치를 이용하여 측정함. X-Y 검사테이블은 공압 모터에 의해 작동되며 X-Y 검사테이블에 설치되는 장치들은 집합체 제원측정, 외곽연료봉 직경, 지지격자 폭 및 피복관 산화막 두께를 측정하는데 이용됨.
- PSE검사는 사용후연료 저장조에서 수행하며 핵연료를 수중에 매단 상태로 측정함. X-Y-Z 검사테이블에는 이미지 영상자료를 획득하기 위하여 수중카메라와 라이트가 설치되며 집합체 각 부품들을 측정하기 위하여 LVDT 및 ECT 기법을 이용함. 기타 측정 시 검사대상 집합체의 온도변화와 위치를 모니터링할 수 있음.

### \* 제어시스템

- 제어시스템은 기본적으로 측정된 신호 및 영상 이미지 분석 프로그램이 포함된 컴퓨터 시스템과 증폭기(Amplifier), PLC, 카메라 제어기 및 실시간 모니터링 장치로 구성됨. 프로그램은 장비교정, 측정 및 검증 과정의 알고리즘을 통해 검사자가 신뢰성 있는 검사 결과물을 얻을 수 있게 하며 결과물은 측정 후 즉시 출력할 수 있도록 구성되어 있음.



## 기술 우수성

### \* 기술특징

- 발전소 연료건물 내에서 핵연료를 분해하지 않고 검사 수행
- 장비가 비교적 소형이며 일부 장치 교체를 통해 다양한 검사 가능
- 다수의 검사수행을 통한 장비 성능인증

### \* 기대효과

- 핵연료 노내 연소성능 자료 생산을 통한 원전운영 안전성 향상
- 핵연료 노내 연소성능 자료의 설계 피드백을 통한 핵연료 성능 향상
- 발전소 내 검사 수행을 통한 노내 연소성능 검사 비용 절감

## 기술 적용현황

- 핵연료와 소재 등의 핵연료 개발 후 연소성능 검증을 위한 시범집합체(Lead Test Assembly) 및 상용화된 연료 검사 수행
- 중국 핵동력연구소(NPIC)에 연소성능 검사장비 1식 수출

## 제공 가능 품목

- 핵연료 노내 연소성능검사 역무 수행
- 핵연료 노내 연소성능검사 장비 공급

## 기술완성도 (TRL)

- 양산 및 초기시장 진입

## 사업 방향

기술 이전

라이선싱

공동 연구

협력 수행

기타