

## 조사후핵연료봉 절단장치 개발

### Development of Cutting Device for Irradiated Fuel Rod

이은표, 전용범, 홍권표, 민덕기, 이형권, 서항석,  
김길수, 권형문, 주용선, 유길성, 주준식, 김은가

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

조사후핵연료봉에 대한 건전성 평가, 핵연료의 개발 및 손상원인 규명 등에 필요한 특성자료를 생산하기 위해서는 조사후핵연료봉에 대한 핫셀시험이 필수적이다. 조사후핵연료봉을 비파괴시험한 후 시험결과에 따라 파괴시험을 위한 절단 위치가 결정되므로 요구된 절단위치 및 시편길이를 정확히 절단하는 것은 파괴시험 결과에 매우 중요하다. 개발된 조사후핵연료봉 절단장치는 파괴시험을 위한 정확한 위치의 절단뿐 아니라 연료봉을 일정한 길이로 정확히 반복절단 하는 작업도 수행 할 수 있다. 또한 핵연료봉 절단작업 후 생성된 분말의 회수도 용이하게 하였으며, 이로 인하여 절단장치의 수명 연장 및 핫셀의 오염준위도 낮출 수 있다.

#### Abstract

Post Irradiation Examination(PIE) on irradiated fuel rods is essential for the evaluation of integrity and irradiation performance of fuel rods of commercial reactor fuel. For PIE, fuel rods should be cut very precisely. The cutting positions selected from NDT data are very important for further destructive examination and analysis. A fuel rod cutting device was developed which can cut fuel rods longitudinal very precisely and can also cut the fuels into the same length rod cuts repeatedly. It is also easy to remove the fuel cutting powder after cutting works and it can extend the life time of cutting device and lower the contamination level of hot cell.

## 1. 서론

한국원자력연구소의 조사후시험시설(PIEF)은 상용 원자로 핵연료에 대한 조사후시험을 목적으로 건설되었으며, 1987년 준공이후 현재까지 약 10여개의 집합체에 대한 조사후시험이 수행된바 있다. 조사후시험시설은 3개의 풀과 4개의 중콘크리트 핫셀 및 2개의 납 셀을 가지고 있으며, 연계 시설로는 방사화학 실험실 및 폐기물처리시설 등이 있다.

조사후시험시설 핫셀에서는 핵연료봉에 대한 외관검사, 와전류시험, 감마스캐닝, 제원측정, X-선 촬영, 핵연료봉의 핵분열기체포집 및 절단, 핵연료봉 시편 금속조직 시험, 밀도측정, 단면 감마스캐닝 등을 수행할 수 있다. 조사후핵연료봉에 대한 건전성 평가, 핵연료의 개발 및 손상원인 규명 등에 필요한 특성자료를 생산하기 위해서는 조사후핵연료봉에 대한 핫셀시험이 필수적이다. 조사후핵연료봉을 비파괴시험 후 시험결과에 따라 파괴시험 할 절단 위치가 결정되므로 요구된 절단위치 및 시편길이를 정확히 절단하는 것이야말로 파괴시험 결과에 영향을 줄 수 있는 아주 중요한 과정 중의 하나이다. 또한 조사후핵연료 처리 기술개발에 사용할 핵연료봉에 대하여는 일정한 길이로 정확히 반복 절단 하는 작업을 할 수 있다. 핵연료봉 절단작업 완료 후 절단 생성분말의 회수가 용이하게 하였으며, 이로 인하여 방사선 준위를 낮출 수 있으므로 절단장치의 수명연장을 피하고 핵연료분말의 비산을 방지하여 핫셀의 오염준위를 낮출 수 있다.

## 2. 조사후핵연료봉 절단 장치의 설계요건

조사후핵연료봉 절단장치는 상용되고 있는 핵연료봉 모두를 절단할 수 있고 핵연료봉의 직각방향으로 절단이 되도록 설계하여야 한다. 또한 핵연료봉의 절단표시 위치를 정확히 절단하기 위해서는 절단되는 위치를 확인할 수 있는 장치가 구비되어야 하고, 정확한 길이의 시편을 채취하기 위한 장치가 필요할 뿐만 아니라 조사후핵연료 처리기술에 사용할 핵연료봉을 일정한 길이로 절단하기 위한 장치를 구비하여야 한다. 절단 톱날의 노화 및 피절단재의 재질에 따른 절단 톱날의 교체가 용이하도록 하여야 하며, 피절단재의 재질 및 크기에 따라 절단 톱날의 회전속도 및 이송속도를 조절할 수 있도록 설계하여야 한다.

## 3. 조사후핵연료봉 절단장치의 구조 및 제작

### 3.1. 조사후핵연료봉 절단장치의 구조

조사후핵연료봉 절단장치는 그림 1과 같이 핵연료봉을 습식절단 하는 장치로서 원격조종기로 취급이 용이한 구조로 설계 제작되었다. 핵연료봉 절단장치는 핵연료봉을 고정하기 위한 2개의 바이스, 다이아몬드 원판형 휠, 다이아몬드 원판형 휠을 회전시키거나 이송시키기 위한 모터, 감속기, 직선구동 시스템 및 리미트 스위치, 핵연료봉의 절단 길이를 제한하기 위한 스톱퍼, 탈 부착이 용이한 물통 그리고 정확한 절단 위치 및 절단상태를 확인하기 위한 평면거울 등으로 구성되어 있다.

#### 3.1.1. 몸체

핵연료봉 절단기의 몸체는 각 부품들이 고정되어 있고 각각의 부품들은 한정된 운동을 한다. 또한 몸체의 높이를 조절할 수 있는 높이 조절용 나사기구를 구비하고 있다.

### 3.1.2. 다이아몬드 원판형 휠

다이아몬드 원판형 휠은 원격조종기와 공구를 이용하여 교체가 용이하며, 다이아몬드 원판형 휠의 중심 높이를 핵연료봉의 중심 높이보다 1mm 높게 하여 절삭효율을 향상시켰으며, 고정 바이스의 측면과 휠의 간극은 1mm로 하였으며, 휠의 제원은 외경 205mm, 내경 25mm 그리고 두께는 0.9mm이다.

### 3.1.3. 다이아몬드 원판형 휠의 구동모터와 감속기

구동모터는 속도 제어 모터와 감속기를 사용하여 다이아몬드 원판형 휠의 회전수를 12rpm에서 226rpm까지 가변 할 수 있다. 또한 감속기와 다이아몬드 원판형 휠의 축과의 동력전달은 맞물림 클러치를 사용하여 모터 및 감속기의 탈 부착이 용이하다.

### 3.1.4. 다이아몬드 원판형 휠의 절입모터와 직선구동 시스템

구동모터는 스테핑 모터와 THK사의 볼나사와 직선운동 가이드를 사용하였으며, 절단작업을 수행할 경우는 0.012mm/min - 5.2mm/min으로 전진할 수 있으며, 절단 완료시는 9.6mm/min의 속도로 급속 귀환한다. 또한 모터와 볼나사와의 동력전달은 맞물림 클러치를 사용하여 모터의 탈 부착이 용이하다.

### 3.1.5. 고정 바이스와 이동 바이스

고정 바이스는 몸체에 견고히 고정되어 있으며 절단 작업 시 핵연료봉을 고정 하는 역할을 하며 8mm - 30mm까지의 원통형 시편을 고정할 수 있다. 이동 바이스는 볼부쉬 상에 설치되어 볼나사와 베벨기어의 회전력 전달에 의해 좌우로 이동한다. 이때 이동 바이스에 부착된 지침이 고정 바이스와 이동 바이스 사이에 설치된 핵연료봉 가이드 전면에 설치된 100mm의 눈금자를 가리키므로 이동 바이스가 좌우로 이동할 때 지침이 가리키는 눈금을 읽을 수 있어 이동 바이스의 이동거리 즉 절단될 시편의 길이를 알 수 있다. 또한 핵연료봉이 접하는 바이스의 내면 양쪽에 V자형의 홈을 형성시켜 줌으로서 핵연료봉의 중심 높이가 일정할 뿐만 아니라 고정을 확실하게 할 수 있다.

### 3.1.6. 핵연료봉 가이드

핵연료봉 가이드는 2곳에 설치하였다. 하나는 고정바이스와 이동 바이스의 사이에 설치하여 핵연료봉을 고정 바이스로 안내하는 역할 및 100mm의 눈금자를 부착시켜 이동 바이스의 이동거리를 확인 할 수 있으며, 또 하나는 절단된 핵연료 시편을 받는 가이드로서 다이아몬드 원판형 휠과는 1mm의 간극을 유지하고 있으며, 전면에 400mm 눈금자와 600mm 눈금자를 부착할 수 있어 절단된 핵연료 시편 및 절편의 길이를 확인 할 수 있고, 가이드 뒤편에는 스톱퍼 시스템을 설치하여 가이드 앞면의 눈금자의 눈금과 스톱퍼를 일치시킴으로서 임의의 길이를 똑같은 길이로 반복절단 할 수 있다.

### 3.1.7. 물통 거치대와 물통의 탈 부착

핵연료봉 절단기는 핵연료봉을 습식 절단하는 구조로 핵연료봉 절단시 다이아몬드 원판형 휠의 일부가 물속에 잠겨 회전한다. 물통의 탈 부착을 용이하게 하기 위하여 물통 거치대를 평행사변형의 구조로 하여 물통을 상하로 움직일 수 있게 하였다.

### 3.1.8. 전 후진 리미트 및 전진 리미트의 가변

다이아몬드 원판형 휠의 전진 및 후진위치를 제한하는 스위치로서 스테핑 모터를 제어한다. 다이아몬드 원판형 휠의 전진위치 제한은 절단하고자 하는 절단하고자 하는 피절단재의 직경에 따라 전진 리미트 스위치를 베벨기어 시스템과 나사기구를 이용하여 전진 리미트의 위치를 전후로 가변함으로서 전진 리미트의 위치를 설정할 수 있다.

### 3.1.9. 평면거울

다이아몬드 원판형 휠은 핫셀 투시창에서 왼쪽으로 약간 치우쳐 설치되어 있어 절단하고자 하는 절단위치와 다이아몬드 휠과의 위치를 정확히 관찰하기 어렵다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 다이아몬드 원판형 휠의 뒤쪽 상부에 거울을 설치함으로서 절단 위치를 정확히 관찰하고 절단 할 수 있다.

## 4. 조사후핵연료봉 절단장치의 성능시험

제작된 핵연료봉 절단장치의 성능시험을 충분히 수행하지 않고 핫셀에 반입하여 조사후핵연료봉을 절단할 경우 장비가 오염되므로 문제점이 발생할 경우 수정이 불가능한 상태에 이를 수 있으므로 핫셀 반입 전 핵연료봉 절단장치의 성능시험은 대단히 중요하다. 핵연료봉 절단장치의 성능시험을 수행한 결과 초기 설계조건을 만족하였으나 평면 거울의 높이가 낮아 작업자와 절단부위와의 반사각이 맞지 않아 절단위치를 확인 할 수 없었으나 평면거울의 높이를 약간 위로 수정하여 줌으로서 문제점을 해소하였다.

## 5. 장치의 핫셀시험 및 결론

성능시험이 완료된 핵연료봉 절단장치를 핫셀에 설치하여 조사후핵연료봉에 대한 절단시험을 수행하였다. 실제 핵연료의 특성에 맞도록 다이아몬드 원판형 휠의 회전수 및 절입량을 조절하여 핵연료봉의 절단작업 수행시험에서 양호한 결과를 얻었다. 또한 고정 바이스, 이동 바이스, 물통의 조작 및 스톱퍼 위치조절 조작이 원격조종기로 취급이 용이하였다. 그리고 이 장치는 절단 완료시 남은 물의 처리 및 핵연료 분말의 처리가 용이하여 핵연료봉 절단 장치의 방사선량 준위를 낮추어 절단장치의 수명을 연장 시킬 수 있을 뿐만 아니라 핵연료 분말의 비산을 최소화하여 핫셀 내의 다른 시험기기를 보호하고 핫셀 내의 오염준위를 낮출 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 과학기술부 주관으로 추진 중인 기관고유사업의 일환으로 추진하였으며, 관계자 여러분에게 감사의 말씀을 드린다.

## 참고문헌

- [1] 민덕기 외, “핵주기기시험시설운영”, KAERI/MR-369/2001 (2001).
- [2] 전용범 외, “핵주기기시험시설운영”, KAERI/MR-388/2002 (2002).
- [3] 양명승 외, “핵연료 제조 및 품질관리 기술개발”, KAERI/RR-1744/96, 한국원자력 연구소, 과학기술처,(1986)
- [4] Westinghouse Proprietary Class 2, Chapter 2: Zircaloy-4, Rev.6, Oct, (1993)



그림 1. 핵연료봉 절단장치 사진