

## 하나로에서 조사한 금속핵연료의 밀도측정용 시편제작 준비장치의 개발에 관한 연구

주용선, 유병욱, 김도식, 김기하, 백승재  
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지  
 yschoo@kaeri.re.kr

연구용 원자로인 하나로에서 중성자에 조사된 금속핵연료(HANARO, SMART, U-Mo)의 스웰링(swelling) 측정은 금속핵연료의 건전성을 평가하기 위한 중요한 인자중의 하나로써, 핵연료의 밀도를 측정하여 평가함이 가장 적합한 시험이다. 상용 원자력발전소에 사용하는 이산화우라늄 핵연료봉은 펠릿(pellet)과 피복관이 분리된 상태로 제작되어 밀도시편 제작시 피복관과 펠릿의 분리가 용이 하였으나, 금속핵연료들은 재질이 서로 다른 심재와 피복관을 동시에 인발하여 제작하므로 분리작업이 매우 어렵고 곤란하다. 그리고 밀도시험을 정확하게 하기 위해서는 이종재료인 피복재와 심재를 완전하게 분리한 후 심재만을 취할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 스웰링 평가에 필요한 밀도측정용 시편 제작 및 폐기물을 최소량으로 발생시키는 장치개발과 성능시험을 수행하였다.

### - 실험장치

장치의 제원은 200 mm(가로) x 500 mm(세로) x 230 mm(높이)이고, 중량은 20 kg이다. 장치의 구성은 가공물 물림부, 가공물 절단부, 가공물 물림장치, 절단부 이송장치 및 피복재(폐기물) 저장함으로 되어 있으며, 각각의 설계요건은 다음과 같고, 핫셀에 설치한 외관은 그림 1과 같다.

#### 가. 가공물 물림부

- 가공물의 장착 직경범위는 최대 10 mm이고, 회전수는 200 rpm 이하이다.

#### 나. 가공물 절단부

- 바이트 수량 및 배치는 120도 간격으로 3개가 설치되어 있고, 재질은 고속도공구강(HSS)이다.

#### 다. 가공물 물림장치

- 이송량은 0.05 mm/cycle이며, 최대이송량은 7 mm이다.

#### 라. 절단부 이송장치

- 이송량은 0.05 mm/cycle이며, 최대이송량은 7 mm이다.

#### 마. 피복재(폐기물) 저장함

### - 실험 방법

실험 방법은 다음과 같고, 이의 작업 절차는 그림 2와 같다.

가. 시험대상물(핵연료)를 가공물 물림부에 장착 시키고, 장착한 시험대상물의 길이는 10 mm이하가 되도록 한다.

나. 가공물 물림부를 원격조종기로 가공물 절단부에 장착시킨다.

다. 가공물 물림부를 가공물 절단부에 장착된 나사를 시계방향으로 회전시켜 고정시킨다.

라. 절단부 이송장치를 반시계방향으로 회전시켜 가공물 절단부에 장착된 3개의 바이트의 직경을 가공물의 크기에 맞도록 조정한다.

마. 작동스위치를 눌러 가공물 절단부가 회전하면 절단부 이송장치를 원격조종기를 사용하여 시계방향으로 천천히 회전시킨다.

바. 피복재 탈피가 완료되면 가 ~ 마.항의 역순으로 가공물을 가공물 물림부로부터 분리하여 시험에 사용할 길이로 절단한다.

사. 탈피된 피복재(폐기물)는 피복재 저장함에서 수거한 후 핫셀 내부에 반입한 고방사선 폐기물 저장함(bin for Monolith)에 처리한다.

- 실험 결과

시험대상 금속핵연료봉은 연구용원자로인 하나로에서 13 개월간 약 0.3 g/cc(95 at%)의 연소도 및 최대 선출력(BE 342.7 W/cm)으로 조사하고, 하나로 저장수조에서 3개월동안 냉각한 후, 2004년 4월에 조사재시험시설(IMEF)에 반입된 금속핵연료이다. 금속핵연료봉의 중성자조사로 인한 연료봉의 강도 및 경도 증가로 피복재 탈피기의 회전수를 100 rpm으로 낮추어 시편을 얻었고, 시편의 표면에 이종물질이 포함되어 있는지 여부도 확인하였으며, 이를 그림 3 및 4에 나타내었다.

- 결론

핵연료피복관 및 핵물질을 동시에 인발하는 금속우라늄 핵연료의 스웰링(swelling) 평가를 위한 밀도측정용 시편제작 장치를 성공적으로 설계 및 제작하였다. 피복관의 피복을 제거할 때 중성자 조사로 인한 연료봉의 강도 및 경도의 증가를 고려할 때 가공물림부의 최적 회전속도는 100 rpm이다. 절단 및 제작한 밀도시험편의 표면을 하이스코프로 관찰하였고, 관찰 결과 핵물질 이외의 이종물질이 전혀 포함되어 있지 않음을 확인하였다. 또한 핵물질 절단에 의한 분진의 양을 현저하게 감소시켜 이에 따른 고방사선 폐기물의 발생량을 감소시킬 수 있다.



그림 1. 핫셀에 설치한 장치의 외관.



그림 3. 금속우라늄핵연료 피복작업 및 제작 시편

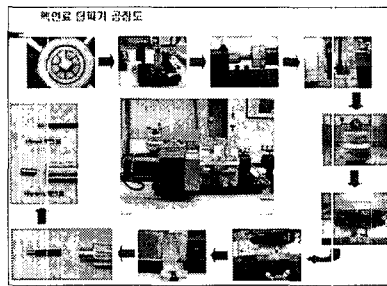


그림 2. 핵연료 탈피기 공정도

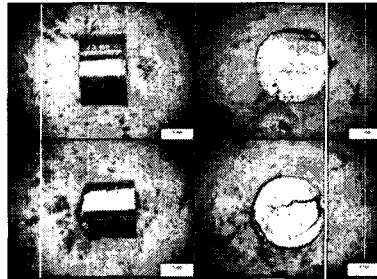


그림 4. 피복후 시편의 표면 관찰.

- 참고문헌

- [1] J. M. Park, C. G. Kim, "Irradiation Behavior of Rod-type U-7/Mo/Al Dispersion Fuel", J. Nucl. Mater. (2006).
- [2] P. G. Luctuta, R. A. Verrall, H. J. Matzke, and B. J. Palmer, "Micro-structural Features of SIMFUEL", J. Nucl. Mater. 178, 48 (1991).
- [3] Y. H. Jung, B. O. Yoo, Y. S. Choo, K. P. Hong, "Irradiated U<sub>3</sub>Si Fuel EPMA Quantitative", KAERI(2000).
- [4] Y. H. Jung, B. O. Yoo, H. M. Kim, J. M. Park, and M. H. Kim, "EPMA Analysis of Inter-reaction Layer Irradiated U<sub>3</sub>Si-Al Fuels", Analytical Science & Technology VOL.17, No. 4, Aug. 2004.
- [5] B. O. Yoo, Y. H. Jung, Y. S. Choo, K. P. Hong, "Post Irradiation Examination of Mini-Plate Nuclear Fuel", KAERI/TR-1896, KAERI(2001).
- [6] B. O. Yoo, Y. H. Jung, Y. S. Choo, K. P. Hong, "Post Irradiation Examination of Mini-Element Nuclear Fuel", KAERI/TR-1836, KAERI(2001).