

고연소 핵연료 소결체 제거장치 및 핵연료 용해장치 개발

서항석, 김도식, 전용범, 이형권, 황용화, 권형문, 장정남, 권인찬
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
nhsseo@kaeri.re.kr

1. 서론

조사후 연료 시험시설은 국내 상용 원자력발전소에서 조사된 핵연료의 성능 시험을 평가/검증하는 시험시설이다. 국내 원자력발전소에서 연소한 조사후 핵연료의 성능 및 건전성을 평가하고 고방사성 원자력 재료의 특성시험을 수행함으로써 고연소도, 고성능 핵연료의 성능평가 분석과 핵연료 및 원자력재료의 건전성 검증시험 결과를 제공한다. 따라서 고연소도 조사후 핵연료 Assembly에 대한 구조부품 조사 성능기술개발의 일환으로 조사후 핵연료 피복관에 대한 기계적 특성시험 [피복관 인장(횡/중), 압축, 굽힘, 파괴인성, 지연수소균열, 내압크리프, 내압피로파괴] 을 수행하기 위한 시편을 제작하기 위하여 본 장비를 개발하게 되었다. 본 장비는 핫셀 내부에 설치하여 원격조종기에 의해 운영되므로 모든 기능을 원격조종기 운전이 적합하게 제작 하였다.

2. 본론

핵연료봉 피복관은 중성자 조사를 받으면 피복관의 기계적 성질이 약화 된다. 이런 피복관 기계적 성질의 변화는 피복관의 안전성에 영향을 미치므로 피복관의 기계적 건전성 확인을 위한 시험이 필요하다. 피복관의 기계적 시험을 위해서는 우선 피복관(Cladding)과 소결체(Pellet)을 분리하여야 하는데 소결체는 원자로에서 조사되면서 팽윤현상(swelling)과 소결체-피복관의 Chemical interaction layer형성에 의해 서로 고착하게 된다. 따라서 피복관과 소결체가 견고하게 본딩(bonding)되어 있는 상태의 핵연료봉을 피복관 손상을 최소화 하면서 소결체를 완벽하게 제거할 수 있는 연료봉 소결체 제거장비를 개발하게 되었다^[1]. 소결체를 파쇄하는 드릴은 출력 420W/ 회전속도 1,100RPM의 드릴을 사용하였으며 드릴비트는 초경합금 ϕ 6.0mm, 길이60/170mm를 사용하였다. 드릴칩에 소재를 고정하고 드릴비트는 하단에 고정된 상태에서 피삭재(연료봉)가 회전하면서 천공되는 방식으로 소결

체를 파쇄 하게 하였다. 시편 길이가 250mm 이상의 시편을 제작할 때는 원심력에 의한 시편의 편심을 방지하기 위해 드릴비트 상단부분에 베어링 시편 안내관을 이용하여 제작한다. 또한 드릴비트 부분에는 소결체를 파쇄 할 때 발생 되는 드릴칩이 비산되지 않도록 원형 투명아크릴 하우징을 제작 후 드릴비트를 하우징 속에 고정하고 뚜껑을 덮어 칩의 비산을 방지 하였다. 장비의 뒤 부분에는 납판을 부착하여 앞,뒤 무게중심을 같게 하였으며 복원력에 의해 feedback 되게 하였다.^[2] Fig.1은 핫셀 내부에 장비를 설치한 후 연료봉을 장비에 장착하고 천공을 시작하기 전 사진과 천공을 마친 시편사진 이다.

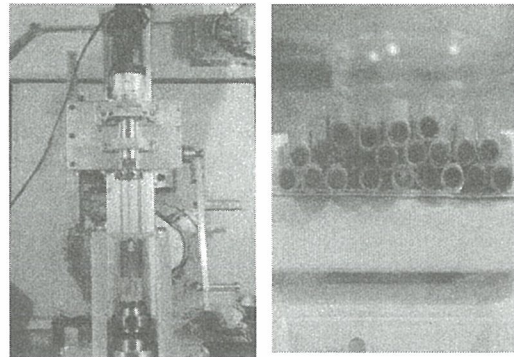


Fig. 1. Spent fuel cladding Defueling machine and defueling cladding specimen.

고방사성 핵연료인 고리3호기 T94-M04핵연료봉에 대한 피복관의 기계적 특성시험시편을 제작하기 위하여 개발한 장비를 핫셀 내부에 설치하고 시편 제작을 하였다. 연료봉 길이330mm인 시편을 제작 할 때는 먼저 길이 60mm 드릴로 연료봉을 천공하고 다시 길이 170mm드릴로 교체한 후 천공을 한다. 천공이 끝나면 시편을 반대로 고정시키고 다시 전과 동일하게 천공을 한다. 천공시간은 약 5시간 소요 되며 천공 방법은 원격조종기로 3초간 시편에 강하게 힘을 가한 후 10초 정지 하는 방법으로 작업을 수행 한다. 가열된 드릴비트에 냉각수가 흐르지 않게 물을 조금씩 뿌

려 주면서 천공을 수행한다. 천공을 마친 시편은 피복관 내부에 약 1mm의 두께로 붙어있는 소결체를 제거하기 위하여 핵연료 용해장치에 넣어 피복관에 붙어있는 핵연료를 완전히 제거한다. 용해장치는 NO_x 가스를 포집할 수 있게 제작하였으며 크기는 260 X 50 X 40mm pyrex glass에 원격조종기로 취급할 수 있도록 스틸로 보강하였으며 뚜껑에 호스를 연결하여 NO_x 가스가 NaOH용액 속으로 흐르도록 하여 NO_x 가스를 포집하게 하였다. 용해방법은 용해장치에 시편을 넣고 화학용액(질산1:물1)을 시편이 잠길 때 까지 부어준다. 그리고 온도를 90도 정도로 유지시키면 피복관 내부에 붙어있는 소결체가 완전히 제거된다. 용해시간은 약 2분경과 후 부터 진행하여 30분정도 소요되며 용해된 시편은 물로 깨끗이 세척 후 에탄올 용액으로 다시 세척/건조 과정을 거쳐 시편 제작을 완료 한다. Fig2의 왼쪽사진은 핵연료 용해장치 사진이며 오른쪽 사진은 핵연료 천공 후 용해장치를 이용하여 용해를 마친 시편 제작이 완료된 사진이다.

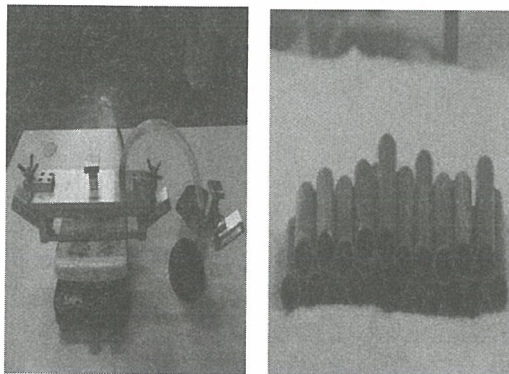


Fig. 2. Residual pellet dissolution apparatus and dissolved cladding specimen.

3. 결론

개발한 고연소 핵연료 소결체 제거장치로 시편 길이 330mm 연료봉을 천공하여 시편의 중간부분(170mm)을 절단하여 보았다. 그 결과 연료봉 중앙에 정확하게 천공 되어 피복관 내면에 손상을 가하지 않았으며 또한 용해장치로 핵연료를 용해할 때 발생하는 NO_x 가스는 NaOH용액으로 완벽하게 포집 하여 가스가 핫셀 내부에 유출되지 않아 만족할 만한 시편 가공을 하였다.

4. 참고문헌

- [1] 서항석 외 5인, “고연소핵연료봉 밀도시편채취 장치 및 핵연료봉 Tube core drilling machine 개발”.한국방사성폐기물학회 추계학술발표회 논문집. 2007..
- [2] 서항석 외 4인, “고연소핵연료봉 Defueling machine 및 Declading machine 개발”, 한국방사성폐기물학회추계학술발표회논문집, 2009.