

모사 피복관을 이용한 탈피복 시험

정재후, 박병석, 김영환, 윤지섭, 홍동희, 황정식
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
nihjeong@kaeri.re.kr

1. 서론

탈피복 시험은 실제의 사용후핵연료(Nuclear Spent Fuel)를 사용하여 사용후핵연료 차세대관리공정시설(ACPF : Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility) 내에 설치된 실증용 탈피복 장치로 시험을 수행하여야 하나, 이는 현실적으로 불가능한 일이다. 그래서 사용후핵연료와 유사한 값을 가진 모사 피복관을 제조하여 시험을 수행한다. 이러한 시험을 수행하기 위하여 온도별(340, 380, 450, 670도)로 예비 모사 피복관을 제조한 후 인장시험을 하고, 시험 결과를 통하여 사용후핵연료의 기계적 성질(인장강도 581 MPa, 항복강도 698 MPa, 연신율 11.2 %)과 유사한 최적의 조건을 도출(물 102 cc, 온도 450도, 105 bar, 15시간 유지) 후, 탈피복 시험에 사용할 모사 피복관 280개(20 kgHM/2 batch 용)를 제조한다. 이는 ACPF 내의 장치를 이용하여 탈피복 시험을 수행한다. 시험결과, 탈피복된 Hull의 시편 및 Blade는 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)을 통하여 시편의 파단면과 Blade의 내구성(마모, 취성) 등을 분석 및 평가한다.

2. 탈피복 시험

ACPF 내에 설치된 실증용 탈피복 장치와 탈피복 시험에 사용한 지르칼로이 튜브 및 모사 피복관은 그림 1에서와 같다. 시험 방법은 ACPF 내의 장치를 이용하여 모사 피복관으로 부터 Pellet 과 Hull을 분리한다. 분리시 탈피복 속도는 지르칼로이 튜브나 모사 피복관 모두 같은 속도로 하였다. 압출편의 하강 속도는 57초, 상승 속도는 17초로 시험을 수행하였으며, 행정 길이는 172 mm 이다. 탈피복 시험에 사용한 피복관은 135개(20 kgHM/batch)로 135회 시험을 수행하였다.

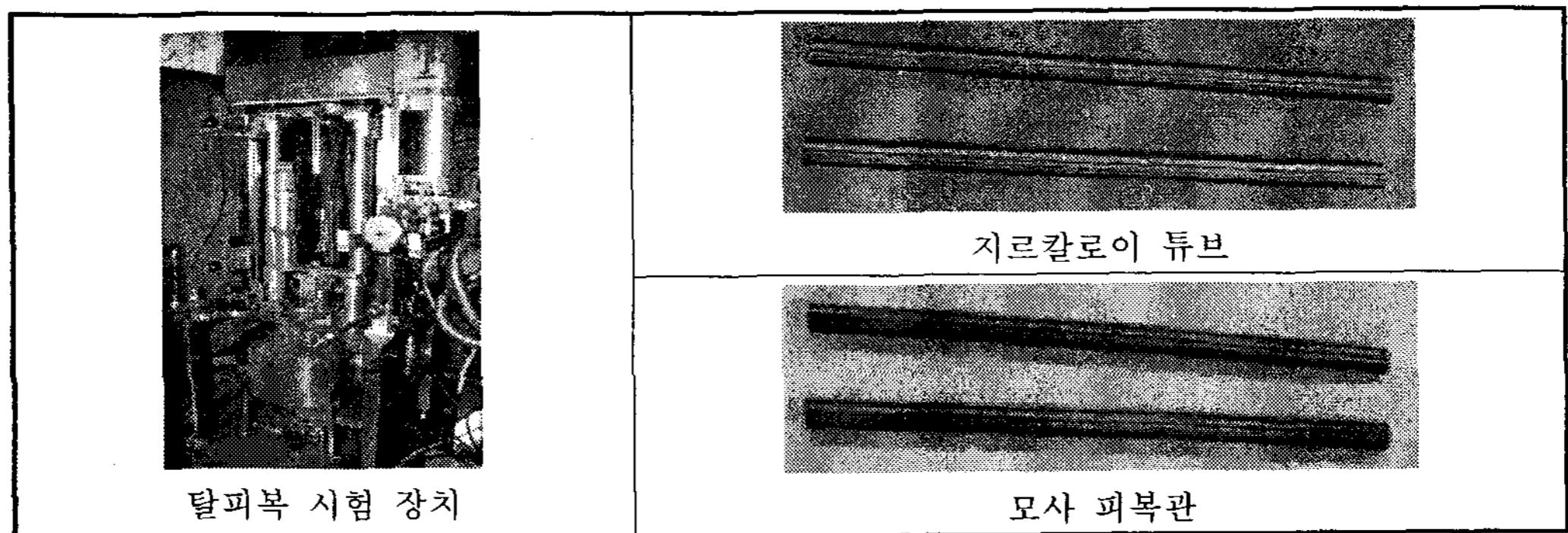


그림 1. 실증용 탈피복 시험 장치 및 지르칼로이 튜브/모사 피복관.

3. 탈피복 시험 결과

3.1 탈피복 후 Hull의 모습 및 Hull 파단면 관찰

ACPF 내에 설치된 실증용 탈피복 장치를 이용하여 지르칼로이 튜브와 모사 피복관의 탈피복 시험을 하였으며, 그림 2는 탈피복 후의 지르칼로이 튜브 및 모사 피복관의 모습과 파단면을 나타낸 것이다. Hull의 파단면을 관찰하기 위해 SEM을 사용하였고, 모델은 Philips XL-30W 이며, 파단면의 배율은 1,000x 배로 촬영하였다. 시험 결과, Hull의 모습은 그림 2에서와 같이 모사 피복관의 파단면이 지르칼로이 튜브의 파단면 보다 더 거칠고, 파단면이 일부 떨어져 나간 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 모사 피복관이 지르칼로이 튜브보다 경도와 취성이 높다는 것을 의미한다.

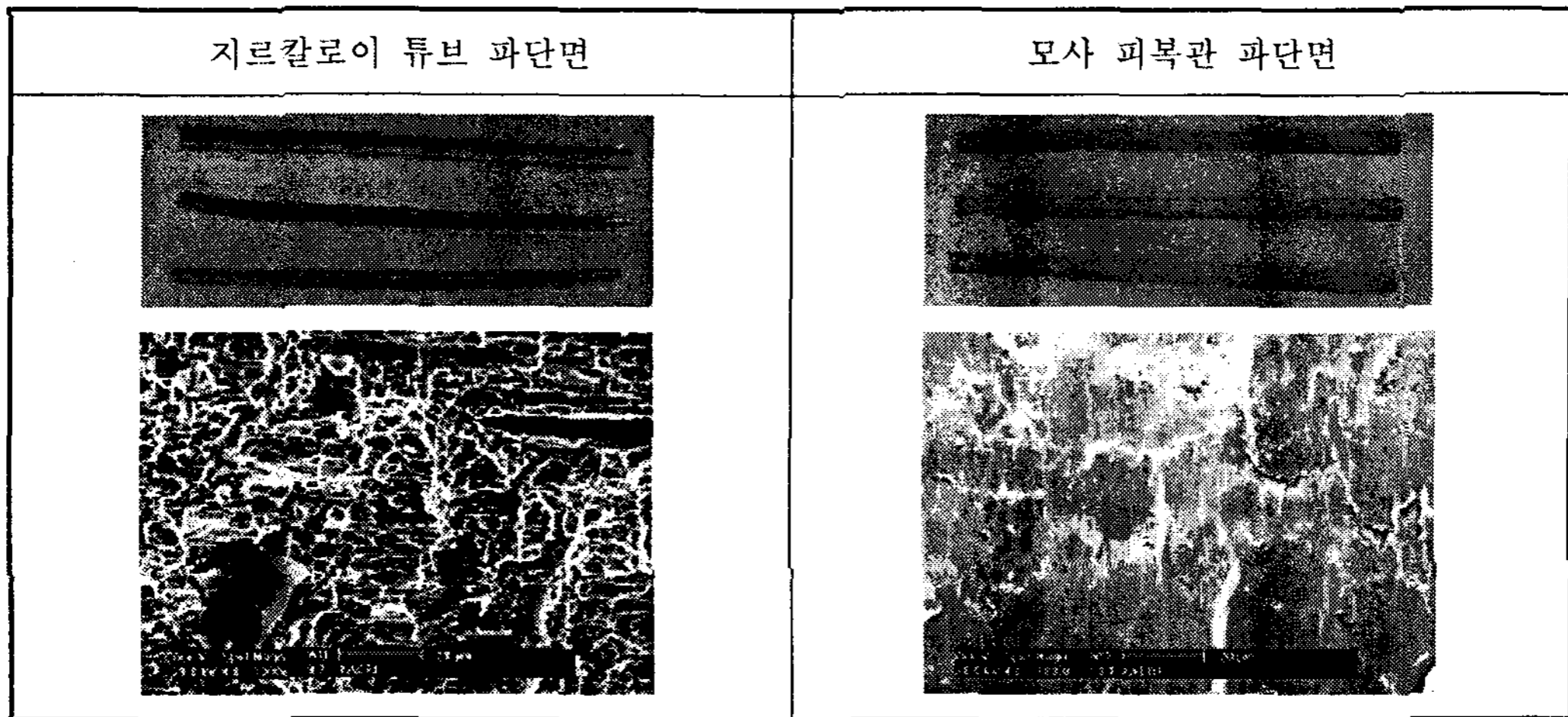


그림 2. 탈피복 후의 Hull 파단면.

3.2 Blade의 내구성(마모, 취성) 평가

지르칼로이 튜브 및 모사 피복관을 시험한 후 Blade에 대한 내구성(마모, 취성 등) 평가를 각각 하였다. 평가에 사용된 연료봉은 지르칼로이 튜브와 모사 피복관 10개를 사용하여 시험을 수행하였다. 그림 3은 지르칼로이 튜브 및 모사 피복관을 탈피복 한 후, 마모된 Blade 면을 각각 관찰하기 위하여 SEM을 촬영한 것이다. Blade 관찰 결과, 모사 피복관을 탈피복한 Blade가 지르칼로이 튜브를 탈피복 Blade 보다 내구성(마모, 취성 등)이 좋지 않다는 것을 알 수 있었다.

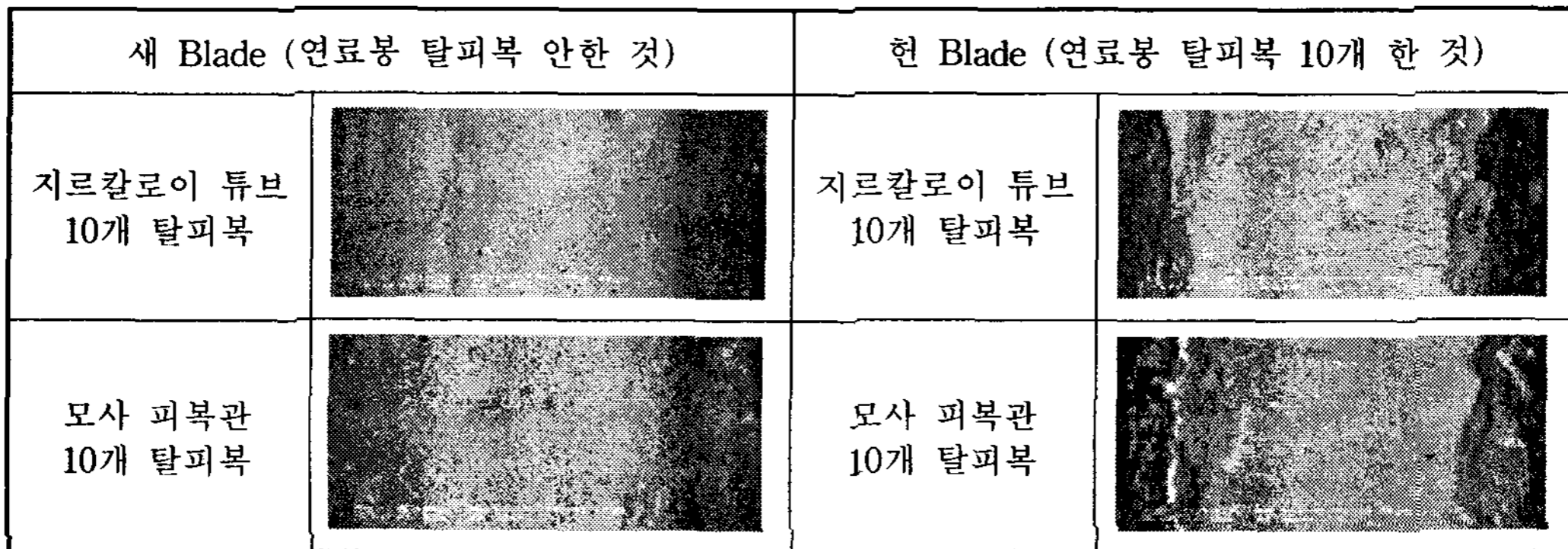


그림 3. 탈피복 후 마모된 Blade의 SEM (500x).

4. 결론

실증용 탈피복 장치는 건식 분말화 공정 장치에 필요한 UO_2 펠릿을 공급하기 위한 장치이며, 연료봉을 Blade module 속으로 밀어 넣어 연료봉의 옆면을 3개의 조각으로 찢어내는 장치를 제작하여 ACPF 내에 설치하였다. 본 연구에서의 모사 시험을 위하여 온도별(340, 380, 450, 670도)로 예비 모사 피복관을 제조한 후 인장시험을 수행하였다. 시험 결과를 통한 사용후핵연료봉의 기계적 성질(인장강도 581 MPa, 항복강도 698 MPa, 연신율 11.2 %)과 유사한 최적의 조건을 도출(물 102 cc, 온도 450도, 105 bar, 15시간 유지) 한 후, 모사 시험에 사용할 모사 피복관 280개(20 kgHM/2 batch 용)를 제조하였다. 제조한 모사 피복관은 ACPF 내에서 실증용 탈피복 장치를 이용한 탈피복 시험을 수행하였다. 시험결과, 탈피복된 Hull의 시편과 Blade를 각각 SEM 촬영을 통하여 시편의 파단면과 Blade의 내구성(마모, 취성)을 종합 분석 및 평가하였다. 이러한 일련의 탈피복 시험은 향후 High throughput(대용량) 탈피복 장치의 Scale-up 데이터 생산에 기본 자료로 활용될 것이다.