

## 다양한 지르코늄 열전달 표면에서의 니켈 부착

정용주, 연제원, 최광순, 최계천, 김원호  
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

[sonamu@kaeri.re.kr](mailto:sonamu@kaeri.re.kr)

장주기 및 고효율 방식으로 전환된 PWR 운전 프로그램으로 인해 fuel CRUD의 양이 증가되는 현상이 일부 reactor에서 관찰됨에 따라 fuel CRUD에 대한 관심이 높아지고 있다. 계통의 부식으로 인해 발생한 부식생성물의 부착으로 생성된 fuel CRUD는 방사화된 후 fuel cladding 표면에서 일부는 유출되어 노심 외부로 이동하여 계통 구조물 표면에 재부착하는 것으로 알려져 있다. 결국 fuel CRUD의 증가는 계통 내 방사선 준위를 상승시키고 방사성폐기물 발생을 증가시키기 때문에 바람직한 원자로운전을 위해서는 반드시 해결해야 될 과제 중 하나로 여겨지고 있다. 이를 해결하기 위해 최근 EPRI에서 개발한 초음파 세척시스템의 경우, 현재 상당한 효과를 거두고 있는 것으로 알려지고 있다. 하지만 이러한 방법은 fuel CRUD가 이미 생성된 후에 대처한다는 점에서 한계를 가지고 있다. 보다 효율적인 방법은 금속이온 및 금속산화물 입자 등으로 알려진 부식생성물의 핵연료 피복재에 대한 부착을 사전에 최소화시킬 수 있는 방안을 도출하는 것으로 인식되고 있다. 이런 맥락에서 fuel CRUD의 생성 경로에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다. 특히 fuel CRUD의 주성분으로 알려지고 있는 nickel ferrite의 생성에 대한 연구는 많은 연구자들의 주목을 받고 있다. 하지만 아직까지 nickel ferrite의 생성경로 규명에는 미진한 측면이 남아 있어 보다 체계적이고 과학적인 접근 방법이 요구되고 있다. 본 연구에서는 PWR과 유사한 온도 및 압력 조건에서 니켈의 부착특성을 조사하고 이를 토대로 nickel ferrite 생성경로에 대한 모델을 제안한다. 냉각재 모델 부식 생성물(model corrosion products)로는 니켈이온, 철 이온(ferrous ion) 및 철 산화물( $Fe_2O_3$ )이 사용되었다. 피복재 재질로는 실제 fuel cladding 재질과 거의 동일한 지르코늄(Zr 704)이 사용되었고, 부착실험은 200 ~ 280°C 온도범위에서 진행되었다. 특히, PWR에서는 fuel CRUD 형성속도가 매우 느린 것으로 알려져 있어서 일반실험실에서의 연구수행에 있어서 시간적인 문제가 가장 큰 걸림돌로 등장하기 때문에 이를 해결하고자 유속을 PWR 조건보다는 크게 낮추고, 부식생성물 농도는 크게 높여서 가속 부착시험을 수행하였다. 부착연구에 사용된 고온 고압 시스템의 개략도는 그림 1과 같다.

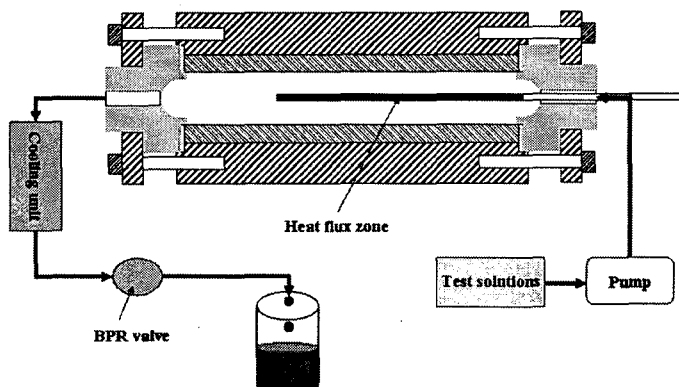


Fig. 1. Schematic of a once-through loop system for deposition tests.

부착이 일어나는 reactor의 용기 내부 재질은 지르코늄을 사용하여 보편적으로 사용하는 스테인레스 용기의 부식으로 인한 다양한 간섭효과를 차단하였다. 시스템의 압력은 BPR(back-pressure regulator) 밸브에 의해서 조절된다. 니켈의 부착특성은 다양한 지르코늄 열전달 표면에서 조사되었다. 산화막 형성속도, 산화온도, primer layer 형성 등을 포함한 다양한 물리화학적 방법에 의해서 지르코늄 히터 표면특성은 개질되었다. 주목할 만한 사실은 니켈의 부착은 지르코늄 표면 성질에 크게 영향을 받는다는 것이다. 특히, primer layer로 철 산화물 층이 형성되어 있는 지르코늄 표면에서는 니켈의 부착량이 크게 향상되었다.