

지르칼로이-4의 고압 고온 수증기에서 산화 반응 속도

박 광현(경희대), 김 규태(한전 원전연료 주식회사)

핵연료의 피복관은 핵분열로부터 발생하는 방사성 핵분열생성물이 외부로 유출되는 것을 차단하는 첫 번째 방어막의 역할을 하며, 피복관의 건전성은 정상 상태는 물론이고 사고시에도 위대한 핵분열생성물의 방출을 억제하는 역할을 충분히 수행할 수 있도록 유지되어야 한다. 단사정 산화막 영역에서만 수증기 압력에 의한 산화가속 효과가 존재하는데, 아직 이를 설명할 수 있는 산화속도 모형이 설정되어 있지 않은 상태이다. 본 연구에선 실험자료를 근거로 하여, 절실히 요구되는 1000°C 이하 영역에서의 수증기 압력을 고려한 산화속도식을 개발하여, 보다 정확한 원전 사고해석이 가능하도록 하는데 기여하려 한다.

* 대기압 수증기에서 지르칼로이-4 산화속도 모형

천이점 이전 영역과 이후 영역으로 구분하여 산화막 두께를 추정하는 실험식을 Leistikow와 Schanz의 자료를 근거로 실험식을 만들었다.

$$\text{천이점 이전의 산화막 두께 : } d = 2.813 \times 10^3 \cdot e^{-\frac{9740}{T}} \cdot t^{0.4}$$

$$\text{천이점에서 산화막 두께 : } d_T = 1.223 \times 10^4 \cdot e^{-\frac{7934}{T}}$$

$$\text{천이점 이후(850°C 미만에서만 존재)에서 산화막 두께 : } d = d_T + k_L(t - t_T)$$

$$\text{그리고, } k_L = 2.222 \times 10^3 \cdot e^{-\frac{13664}{T}}, \quad t_T = 39.413 e^{\frac{4515}{T}}$$

여기서, 두께, d , d_T 의 단위는 μm ; 시간, t , t_T 는 초; 온도, T 는 절대온도이다.

* 고압 수증기에서 지르칼로이-4 산화속도 모형

정방정의 안정성과 수증기 압력에 의한 산화속도 증가는 서로 반비례 관계가 성립되어, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d(P)}{d(1)} = e^{h(P-1)}$$

여기서, $d(P)$ 와 $d(1)$ 은 각각 수증기 압력 P 기압과 1기압에서 산화된 지르칼로이-4의 산화막 두께이고, h 는 압력가속 효과를 나타내는 상수이다

고압 수증기 하에서 산화될 때에도 천이(850°C 미만)가 발생하며, 산화속도 증가는 정방정의 안정성에 의해 결정된다는 가정하에 모형을 개발하였다. 기존 자료를 분석하여 압력효과 상수, h 를 구하였다.

온도(°C)	700	750	800	850	900
$h(\text{bar}^{-1})$	9.62×10^{-3}	1.30×10^{-2}	1.18×10^{-2}	1.30×10^{-2}	9.95×10^{-3}

각 온도별 압력효과 상수(h)값.