

화학제염 기술 개발을 위한 모의 부식 산화막 제조

정준영, 박상운, 원취준, 최왕규, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

jjy87@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설의 유지보수 및 해체 시에 작업자의 피폭을 저감하고 안전성을 제고하기 위하여 방사능이 높은 1차 계통에 효과적인 제염공정을 개발하는 것이 요구된다. 이를 위해 대상 재질에 맞는 제염효과가 크고 방사성 폐기물의 발생량을 최소화하는 제염제를 개발하는 것이 필요하다. 이러한 연구를 하기 위해서는 제염의 대상이 되는 부식 산화막이 요구되는데 실제 부식 산화막의 경우 방사능의 오염에 의해 취급이 까다롭고 시편을 얻기가 어렵기 때문에 모의 산화막 시편을 제작하여 연구에 이용되도록 하는 것이 필요하다[1]. 이를 위해서 1차 계통의 실제 부식 산화막과 유사한 모의 산화막을 제작하기 위한 semi-loop를 제작하였고, 이를 이용하여 여러 조건에서 모의 부식 산화막을 제조하였다. 제작된 semi-loop는 부식용액내의 용존산소농도를 원하는 수치로 간편하게 조절하여 실제 1차 계통내부의 용액수준과 유사한 환경에서 산화막이 제조될 수 있도록 하였다. 제조한 부식 산화막 시편을 SEM을 통해 분석하여 제조환경에 따른 부식 산화막의 차이를 알아보고자 하였다.

2. 본론

2.1 Semi-loop를 이용한 모의 산화막 제조

실험을 위해 제작된 semi-loop는 실험 시에 사용되는 부식용액이 실제의 가압경수로의 수질조건과 비슷하게 갖추도록 하기 위해서 제작되었으며 이를 통해 모의 산화막이 원전의 실제오염 산화막과 비슷한 조건에서 제조될 수 있도록 하였다. 부식용액은 실제 1차 계통 가압경수로의 일반적인 수질 조건과 유사하도록 LiOH 2.2 ppm과 H₃BO₃ 650 ppm를 첨가한 증류수를 사용하였다[2]. 모의 산화막 시편은 1차 계통에서 많이 쓰이는 Inconel-600과 304 Stainless steel을 약 20 mm × 20 mm × 2 mm의 크기로 가공하여 사용하였다. 또한 시편의 모든 면을 #1200의 사포로

polishing 한 후에 사용하였다. Semi-loop는 산화막 제조가 수행될 autoclave와 초기의 부식 용액이 담긴 chemical mixing tank를 Fig. 1과 같이 설치하여 chemical mixing tank 내부의 N₂ purge 통해 부식실험 전에 부식용액의 용존산소농도를 조절할 수 있도록 하였고 N₂ purge에 따른 부식용액내의 산소 농도 변화를 관찰할 수 있도록 DO meter를 장치하였다. 부식용액은 semi-loop 내에서 Fig. 1의 Step 1의 방향으로 흐르는 상태에서 chemical mixing tank 내부를 N₂ purge 하여 용존산소농도를 원하는 값으로 조절하였고 이 용액을 Step 2의 방향으로 바꾸어 흐르게 하여 autoclave에 채워지도록 하였다. 용액의 충전이 완료된 후에는 autoclave의 온도를 350 °C까지 올렸으며 이 때의 내부 압력은 실제 1차 계통의 압력보다 약간 높은 2500 psi로 유지하였다. 이러한 방법으로 autoclave의 가동시간과 용액 내의 용존산소농도를 조절하여 실험을 진행하였다. 부식 환경은 압력과 온도의 경우 부식실험 동안 일정하게 유지 되었고, 용존산소농도의 경우에는 부식 전과 후의 값의 변동이 크지 않았다.

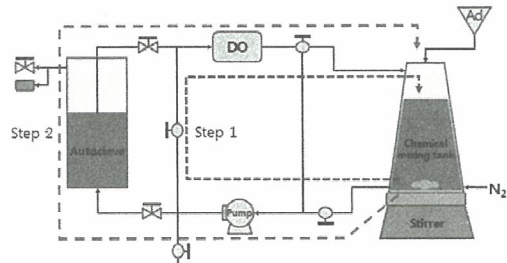


Fig. 1. 모의 산화막을 제조하기 위한 Semi-Loop장치.

Table 1. 가동한 실험 조건.

시편 재료	Inconel-600		304 Stainless steel
	I-1	I-2	S-1
DO(bbp)	210	8.7	8.7
온도(°C)	350	350	350
압력(psi)	2500	2500	2500
부식시간(일)	2	4	4

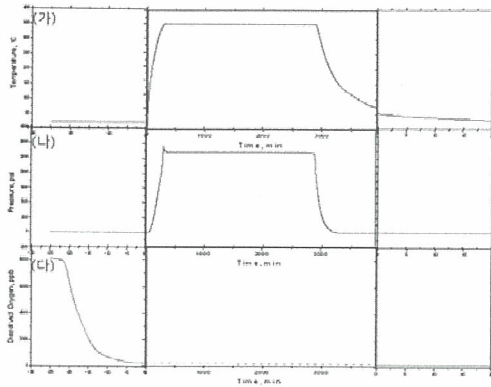


Fig. 2. 시간에 따른 autoclave 내부 환경의 변화 (가) 온도 (나) 압력 (다) 용존산소농도.

2.2 제조된 산화막 분석

산화된 시편의 표면에 형성된 산화막의 형태를 확인하기 위해 SEM을 이용하였다.

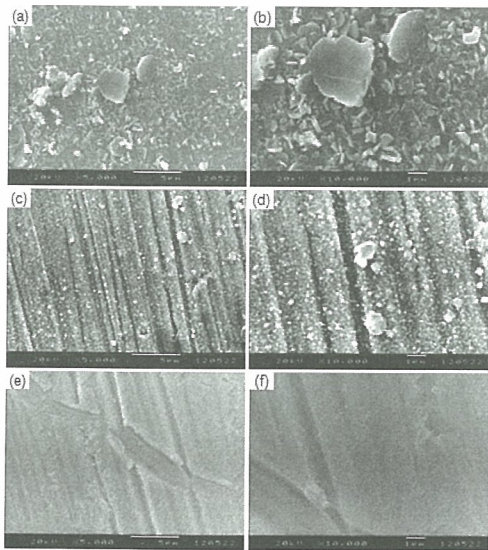


Fig. 3. 부식 시편 표면의 SEM 이미지 (a) I-1 (5,000배) (b) I-1 (10,000배) (c) I-2 (5,000배) (d) I-2 (10,000배) (e) S-1 (5,000배) (f) S-1 (10,000배).

Fig. 3은 5,000배, 10,000배로 관찰한 부식 시편의 표면 이미지를 나타낸 것인데 부식용액의 용존산소농도가 높은 I-1의 경우 생성된 deposited oxide의 크기가 4 μm에서 1 μm 이하까지 다양했으며 넓적한 판 모양으로 형성된 것이 관찰되었다. 이에 비해 용존산소농도가 낮은 I-2의 표면에서는 deposited oxide의 크기가 1 μm 이하의 정도로 매우 작고 그 수도 적어 표면에 부식 전

polishing에 의해 생긴 다수의 scratch들이 뚜렷하게 관찰되었다. S-1의 SEM사진에서는 deposited oxide가 관찰되지 않았지만 표면이 매끈하고 polishing에 의한 scratch가 거의 보이지 않은 것으로 보아 산화막이 형성된 것으로 보인다.

3. 결론

용액의 용존산소농도 제어가 가능한 semi-loop를 제작하여 모의 부식 산화막을 제조하여 제조된 산화막을 분석한 결과 Inconel-600의 경우 부식용액의 용존산소농도가 높을수록 산화막 표면의 deposited oxide가 많이 생성되는 것을 확인하였다. 또한 같은 부식환경일때 304 Stainless steel이 Inconel-600에 비해서 두터운 산화막을 형성하는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 부식실험 동안 autoclave 시스템의 온도와 압력이 장시간 안정적으로 일정하게 유지되고 또한 실험전후의 용존산소농도 또한 부식실험동안 일정하게 유지된 것으로 보아 제작한 semi-loop가 안정적이고 간편하게 용존산소농도를 제어했기 때문에 앞으로 다른 조건의 실험을 통해서도 semi-loop가 부식 산화막을 간편하고 유용하게 제조할 수 있는 공정으로 활용될 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 강덕원, 김진길, 김경숙, “원전 화학제염을 위한 모의크러드 제조방법 연구”, 방사성폐기물학회지, 8(2), pp.91-97, 2010.
- [2] F. Carrette, M. C. Lafont, G. Chatainer, L. Guinard, B. Pieraggi, “Analysis and TEM examination of corrosion scales grown on Alloy 690 exposed to pressurized water at 325 °C”, Surface And Interface Analysis, 34, 135-138, 2002.
- [3] Wenjun Kuang, En-Hou Han, Xinqiang Wu, Jiancum Rao, “Microstructural characteristics of the oxide scale formed on 304 stainless steel in oxygenated high temperature water”, Corrosion Science, 52, 3654-3660, 2010.