

방사성 오염 금속 표면에 형성된 코발트 산화막의 플라즈마 제염 반응 연구

박동민, 전상환, 김용수, 진동식*, 문세권**, 정종현**

한양대학교, 서울특별시 성동구 행당동 17번지

*(주)액트, 대전광역시 대덕구 신일동 1588-5번지

**한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

counter84@hanyang.ac.kr

1. 서론

국내에서도 방사성 폐기물의 제염 수요가 점차 증대되고 있으며 다량의 금속 방사성 폐기물이 지속적으로 발생할 것으로 예상된다. 강산을 이용한 습식 제염 방식은 오염 핵종과 재료간의 강한 결합을 이루고 있는 경우에도 적용이 가능하나 다수의 주변 설비와 복잡한 공정이 요구된다. 특히 다량의 2차 폐기물이 발생한다는 단점을 지니고 있다. 반면에 플라즈마 제염 기술은 오염 핵종을 반응성 플라즈마와 반응시켜 기화 제거하는 건식 공정으로 습식과 달리 2차 폐기물 발생량을 획기적으로 줄일 수 있으며 오염 핵종이 모재에 강하게 고착되어 있더라도 오염 물질만을 선택적으로 제거할 수 있는 장점이 있어 모재 손상 없이 재활용이 가능하다.

이 연구에서는 실제 제염 대상물에 플라즈마 제염 공정 적용을 위한 연구를 수행하였다. 금속 표면에 고착화된 오염 상태를 모사하기 위하여 원자력 발전소에서 이용되는 대표적인 금속 재료인 SUS 304와 Inconel 600을 모재로 하여 표면 위에 코발트 산화막이 고착된 시편을 준비하고 이를 최적 조성의 NF_3/Ar 반응성 플라즈마 기체에서 제거하는 실험을 수행하였다.

2. 실험 및 결과

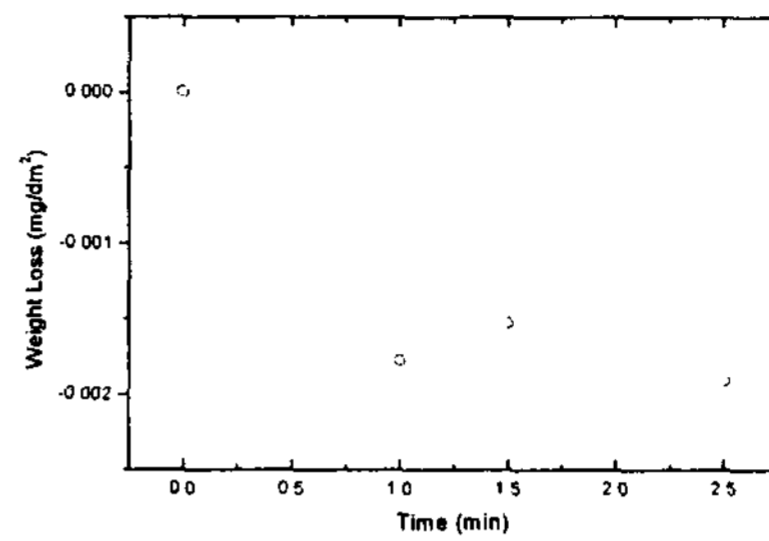
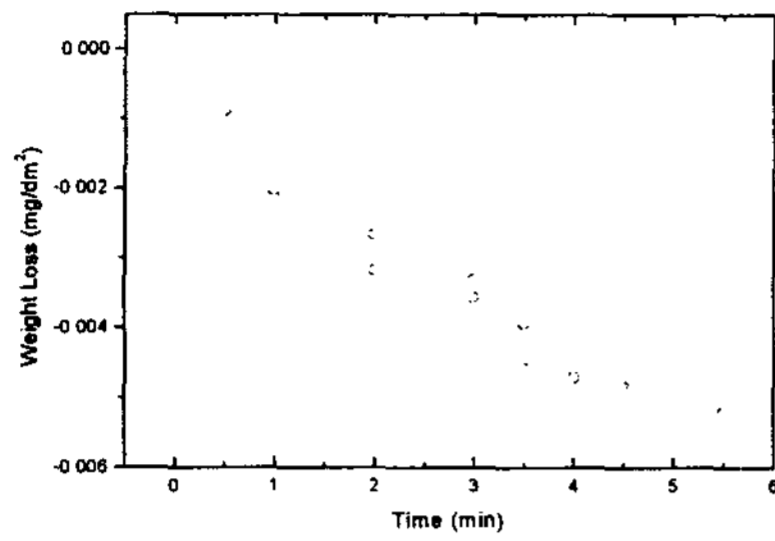
본격적인 실험에서는 모재인 금속 시편 위에 코발트 산화막이 강하게 고착되어 있는 경우를 모사하여 NF_3/Ar 기체 플라즈마와 반응시켜 식각 반응율을 측정하고 반응 후 시편 표면 분석을 수행하였다. 코발트 오염 모사 시편의 제작은 금속 봉을 저속 다이아몬드 절단기를 이용하여 얇은 디스크 형태(지름 10 mm, 두께 2 mm)로 가공한 뒤 SIMCON (simulated contaminants) 기법에 의해 500 °C에서 산화 후 냉각시켜 오염 모사 시편을 제작하였다. 코발트 산화막 식각 반응율 측정은 준비된 시편을 반응용기에 장입한 후 150 W의 r.f. 출력을 이용하여 300 °C, 450 mTorr의 반응조건 하에 NF_3/Ar 기체 플라즈마와 반응시켜 측정하였으며 -300 V의 DC 전압을 인가하여 이온보조식각에 의한 반응율을 같이 측정하였다.

실험 결과 NF_3 와 Ar의 혼합기체를 이용하였을 때, SUS 304의 경우 Fig 1.과 같이 DC 전압을 인가하지 않았을 경우 17.6 $\mu m/min.$, -300 V의 DC 전압을 인가한 경우 26.6 $\mu m/min.$ 의 반응율을 도출하여 DC bias에 의해 반응율을 1.5배 향상시켰으며, Inconel 600의 경우 Fig 2.와 같이 DC 전압을 인가하지 않았을 경우 27.2 $\mu m/min.$, -300 V의 DC 전압을 인가한 경우 31.6 $\mu m/min.$ 의 반응율을 도출하여 DC bias에 의해 반응율을 1.2배 향상시킬 수 있었다.

또한 광학현미경을 이용한 표면 분석을 통해 인코넬 모재의 산화막이 제거된 것을 확인하였으며, Fig 3.의 XPS를 이용한 표면 분석을 통하여 코발트산화막의 반응전·후 표면을 분석한 결과 반응 전 코발트산화막이 반응 후 제거되었음을 확인하였고, 반응 후 표면에서 불소(F1s) 피크가 검출됨으로써 코발트 산화막은 불화물을 이루며 제거된다는 사실이 밝혀졌다.

3. 결론

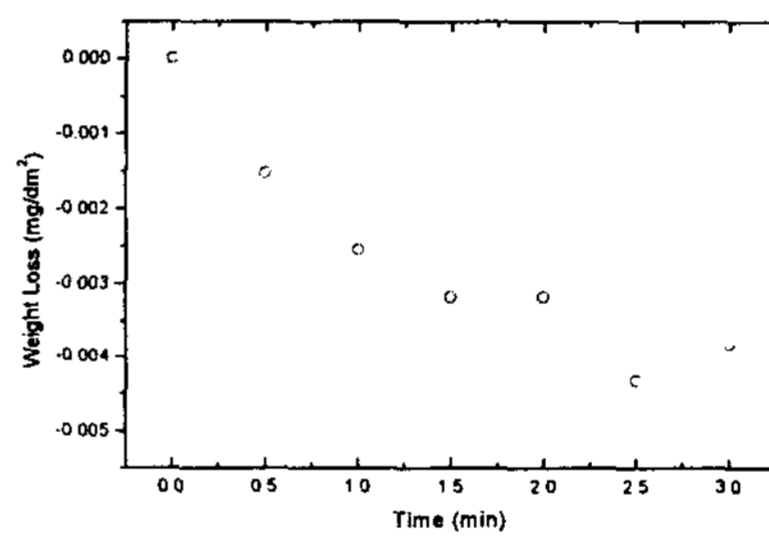
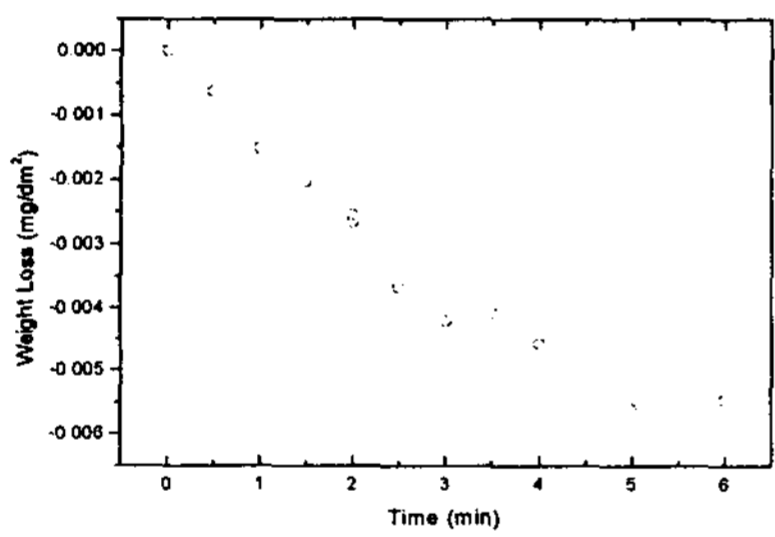
일반적으로 방사성 오염 금속은 오염 핵종이 모재에 고착된 표면 오염 상태로 존재하는데 이 연구에서 달성한 최대 30 $\mu m/min.$ 이상의 코발트 산화막 제거 속도는 주요 반도체 공정의 식각율인 수 $\mu m/min.$ 의 3 배 이상에 달하는 높은 반응율로 플라즈마 제염 기술의 적용성이 우수함을 확인할 수 있었다. 그러므로 향후 오염원이 산화막 형태로 모재에 강하게 고착된 경우에도 플라즈마 제염 기술의 실용화가 충분히 가능하다고 사료된다.



(a) no bias

(b) -300 V DC bias

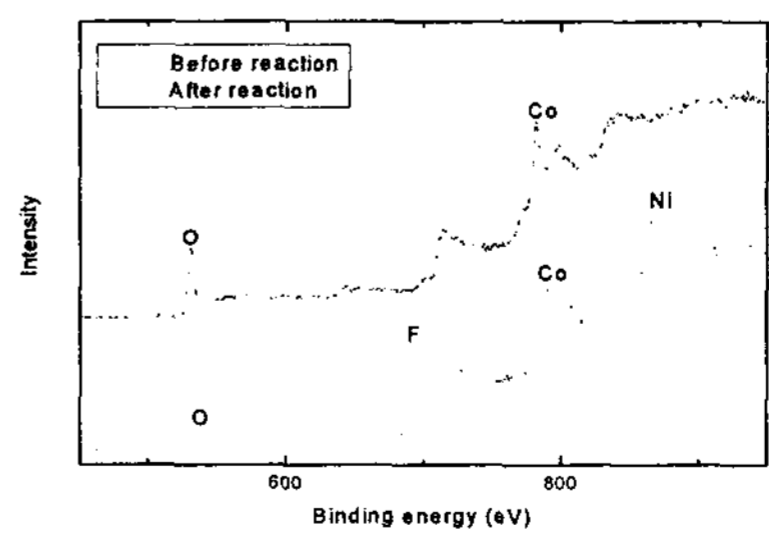
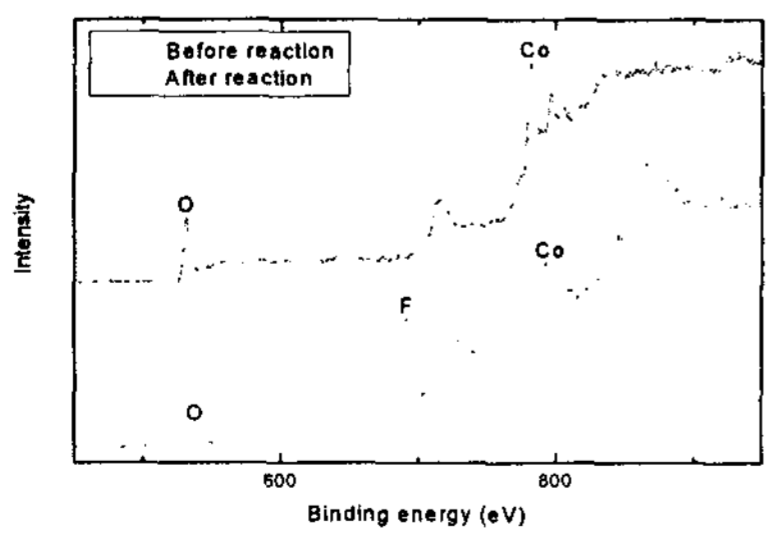
Fig 1. Weight loss of cobalt oxide on the stainless steel vs. time



(a) no bias

(b) -300 V DC bias

Fig 2. Weight loss of cobalt oxide on the Inconel vs. time



(a) Stainless steel

(b) Inconel

Fig 3. XPS analysis of before and after reaction