

HBF₄ 용액 내에서 증기발생기 오염표면 제염 특성

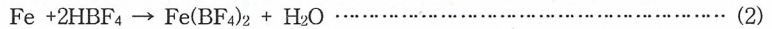
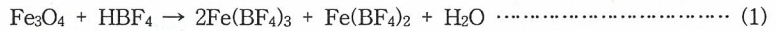
권미경, 최왕규, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1

mkkwon@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력 발전소의 가동 효율 및 안정성 확보를 위해 발전소 설비의 유지보수 및 교체가 지속적으로 시행되고 있다. 1998년 고리 1호기의 증기발생기 교체를 시작으로 2011년에도 올린 원전의 증기발생기가 교체될 계획이다. 이러한 증기발생기는 대용량의 방사성 폐기물이지만 대부분 방사성 오염 정도가 미비하므로 안전하고 효과적인 처리를 통해 폐기물의 재활용을 꾀할 수 있으며, 부피감소를 통해 비용 절감의 효과 또한 얻을 수 있다. 방사능으로 오염된 증기발생기는 제염 및 절단 등의 여러 공정을 통해 규제 해제 폐기물로 전환되어 재활용 될 수 있다. 해외 여러 나라에서 제염 공정을 통해 증기발생기를 처리한 사례가 있으며, 벨기에에서는 Ce(IV)이온을 주 제염제로 하는 MEDOC(METal Decontamination by Oxidation with Cerium) 공정을 이용하여 BR3 증기 발생기를 처리하였다. 또한 미국의 EPRI에서는 DFD(Decontamination for Decommissioning)공정과 이온 교환(Ion exchange) 공정을 결합하여 증기발생기를 제염한 사례가 있다. DFD 공정에서 제염제로 사용된 HBF₄는 MEDOC 공정에서 제염제로 사용한 Ce(SO₄)₂ 보다 온화하므로 퇴역 증기발생기의 처리 뿐만 아니라 운영 중의 증기 발생기의 제염에도 사용할 수 있다는 장점이 있다. 다음 식 (1)와 (2)에 HBF₄에 의한 모재 및 산화막의 용해 반응을 나타내었다.



상기 반응식에서 알 수 있듯이, HBF₄는 산화막 뿐만 아니라 모재를 효과적으로 용해시킴으로써 제염 성능을 크게 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 HBF₄와 증기 발생기 구성 성분인 스테인리스 스틸(stainless steel) 및 인코넬(Inconel) 재료에 대하여 제염제인 HBF₄와의 접촉 시간, 농도, 온도 등의 다양한 인자들을 변화시켜 최적의 반응속도를 유도하는 인자를 도출하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 결과

모재(base metal)와 제염제(HBF₄)간의 온도, 농도, 시간의 변화에 따른 반응 속도를 관찰하기 위해 304 STS(stainless steel)와 Inconel 박편을 이용하여 실험을 진행하였다. 본 실험에서 제염제로 사용한 HBF₄는 Merck 사의 35 wt%이며, 그 시약을 0.5 wt%, 1 wt%, 2 wt%, 5 wt%의 농도로 희석하여 사용하였다. 온도 변화를 용이하게 하고 제염제와 모재(base metal)의 균일한 반응을 촉진하기 위해 항온 교반조를 사용하였다. 희석하여 제조한 용액을 각각 200 mL씩 분취하여 플라스틱 병에 넣었으며, 각각의 병에 무게를 측정된 시편을 투입하였다. 제염제와 시편이 들어있는 병을 항온 교반조에 넣고, 온도는 각각 25℃, 50℃, 75℃, 95℃로 설정한 뒤, 120 rpm으로 교반 시킨 후, 30분, 1시간, 2시간, 4시간 마다 시편과 HBF₄를 분리하여 반응 후 시편의 무게를 측정하였다. 반응 후 무게를 측정된 결과 25℃와 50℃에서 제염제와 304 STS(stainless steel) 시편의 반응 후 무게 변화는 거의 없었으며, 또한 모든 농도에서 반응 시작 후 1 시간 동안은 무게 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 4 가지 농도의 제염제(HBF₄)와 304 STS 시편의 시간에 따른 반응을 관찰한 결과 모든 온도 범위에서 HBF₄ 농도 증가에 따라 시편의 용해 속도가 증가됨을 보였다. Fig. 1은 5 wt%의 HBF₄와 304 STS 시편의 반응 후 질량 감소의 차이를 각 온도별로 나타낸 그림으로 온도가 높아질수록 304 STS 시편의 용해 반응 속도가 빨라짐을 알 수 있었다. Inconel 600 시편 또한 304 STS 시편과 동일한 경향을 띄는 것으로 나타났다. 304 STS 시편과 Inconel의 질량 감소를 비교하기 위해 시편의 단면적으로 나누어 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 304 STS 시편이 Inconel 시편보다 약 10배 가까이 용해 속도가 큼을 확인할 수 있었다.

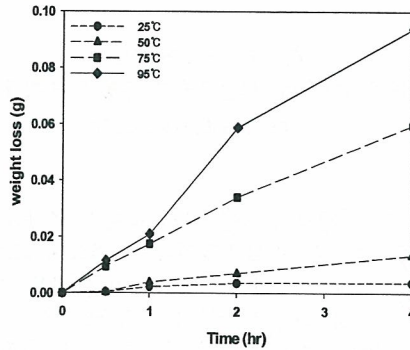


Fig 1. 온도 변화에 따른 5 wt%의 HBF₄와 반응 후 304 STS 시편의 부식된 양

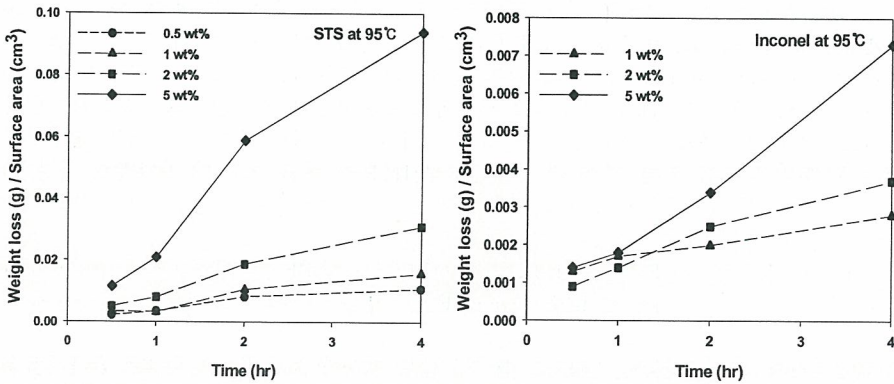


Fig 2. 95°C에서의 304 STS 시편과 Inconel 시편의 부식된 양

3. 결 문

본 연구에서는 HBF₄의 농도, 반응 시간 및 온도를 다양하게 변화시킴으로써 모재 표면과 제염제와의 반응 속도를 관찰하였다. 그 결과, 제염제의 농도가 높고 반응 온도가 높을수록 용해가 더 잘 일어남을 알 수 있었으며, 실험 인자가 동일한 조건일 때 304 STS 시편이 Inconel 보다 표면 용해 속도가 더 크 을 확인할 수 있었다.

4. 참고문헌

- 1) EPRI, The EPRI DFDx Process-Final report, May 2006.

사 사

본 연구는 지식경제부의 공업기반 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.