

원자로 냉각수 펌프용 재료의 화학제염공정변화에 따른 특성 평가

김성종⁺, 김기준⁺⁺

Evaluation of property with chemical contamination process of material for RCP

Seong-Jong Kim⁺, Ki-Joon Kim⁺⁺

1. 서론

원자로 냉각재펌프(이하 RCP)는 원자력 발전소 내부의 증기 발생기 후단에 설치되어 계통수에 순환시키는 주요 기기중 하나이며, 대부분 발전소에는 발전소 당 3-4대가 설치되어 있다. 이 RCP의 정비는 주로 핵연료 교체시기와 병행하여 실시하는데, 그 이유는 원자로의 운전이 한번 시작되면 다음 핵연료 교체시까지 정비나 접근이 불가능하게 되기 때문이다. RCP는 운전 중 장시간 핵연료에 노출되기 때문에 그 표면이 방사화되거나 방사성 스케일이 부착하게 되어 정비작업을 하기 위해서는 작업시작 전 내장품 표면을 화학약품으로 세정시켜 방사선량을 낮추는 화학제염이 필요하다. 그 동안 우리나라는 원자력발전소의 가동 연수 증가로 인하여 RCP의 분해점검 및 교체작업이 필요하게 되었으며, 상기의 RCP 내장품 분해점검 및 교체 작업 시 고방사선에 기인한 정비 상의 어려움 때문에 대부분 해외 기술에 의존해 왔다.

RCP 내장품 재료로는 304 스테인레스강이 주로 채용되고 있는데, 화학제염 공정 적용 시 화학약품으로 인해 입계부식이나 공식 등의 부식손상이 지적되어 왔으며, 이로 인해 화학제염 실시에 따른 내장품의 안전성 확보와 화학제염의 효과 사이에 최적화를 이루기 위한 노력이 진행되어 왔다. RCP의 화학제염에 관한 연구는 1990년대에 들어서면서부터 국제적으로 관심의 대상이 되어온 분야였으며, 그 동안 미국, 일본, 프랑스, 대만 등에서는 상당한 연구 성과를 거두어 각 나라마다 독자적으로 개발한 제염기술을 개발하여 사용하고 있다. 그러나 이에 대한 지금까지의 기술정보는 세계적 경쟁 속에서 각국마다 기술의 공개를 극비리 제한하고 있어 상세한 정보를 입수하기란 거의 불가능한 실정이다. 따라서, 우리 나라의 원자력발전소에서도 이에 대한 독자적 제염공정 및 설비개발이 절실히 필요를 절감하게 되어 한전기공을 중심으로 RCP 정비기술의 자체 보유와 막대한 정비비의 해외 유출을 줄이기 위해 본 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 RCP의 주 재료로 스테인레스강 304, 415, 431, 공구강, 인코넬600 및 카본 스틸강을 사용하여 각 공정과 사이클 시간, 온도 변수 그리고 약품농도 변화를 두 가지로 모델 1과 모델 2로 나눠서 연구를 시행하였다. 실제 현장의 화학제염 공정절차를 실험실에서 재현하여 각 공정단계별 부식특성을 조사하고 시험편의 내식성, 무게감량 특성 등을 비교/연구하며, 전자현미경과 주사전자 현미경 및 분극시험을 이용하여 피팅과 입계부식으로 인한 손상정도를 평가한다.

2. 실험방법

분극 실험용 시험편과 무게감량 측정용 시험편은 1 cm²과 100cm² 노출시킨 후 예복시로 마운팅하여 에머리페이퍼 600번까지 연

마하고, 시험 직 전 초음파 세척기를 이용해 알코올 중에서 세척하였으며, 실험 전에는 불순물 혼입을 방지하기 위하여 청결한 티슈를 사용하여 밀봉하였다. 전체 시험편은 각 모델 별, 사이클 횟수별로 나누어 제작하였다. 현미경 관찰용 시험편은 에머리페이퍼 2000번까지 연마를 실시 한 후 동일한 세척과정을 거친 후, 해당시험을 실시하였다. 분극실험은 2 mV/sec로 하였으며, 기준전극은 은-염화은 전극을 대극은 백금전극을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 모델 1과 2의 스테인리스강에 대하여 분극곡선으로부터 구한 부식전위를 상호 비교한 결과이다. 전체적으로 모델 1에 비해 모델 2의 부식전위가 낮은 값을 보여 주었다. 이는 모델 2가 1에 비해 훨씬 가혹한 조건이기 때문에 전기화학적으로 불안정하여 전위가 비 방향으로 이행한 것으로 사료된다. 부식전위의 고찰에서 모델 1에서는 304와 431은 대체적으로 안정된 전위를 나타냈으며 부식거동이 다소 안정되었다고 할 수 있고, 415는 2사이클부터 급격히 비 방향으로 이행하였으므로 2 사이클부터 시험편 표면의 용해반응 또는 부식(피팅 또는 입계부식)의 경향이 뚜렷하며, 모델 2의 경우는 모든 시험편에서 사이클 변화에 따라 급격한 전위변화가 관찰되었으므로 가혹한 조건에 기인한 부식 현상이 유기된 것으로 사료된다.

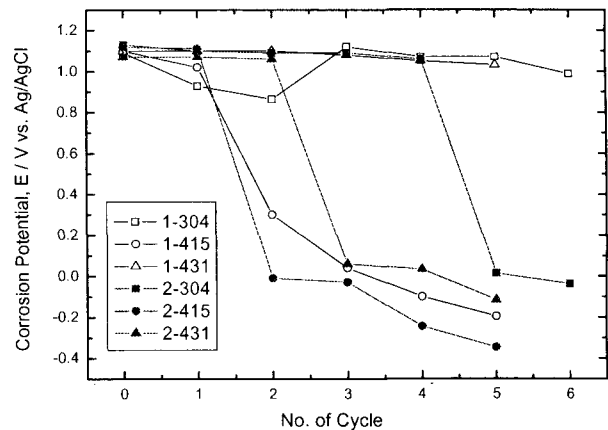


Fig. 1 모델 1과 2의 부식전위 상호 비교

Fig. 2는 모델 1과 2의 부식전류밀도를 상호 비교한 그래프이다. 전체적으로 모델 1에 비해 모델 2의 부식전류밀도가 높은 값을 보여 주었다. 이는 모델 2가 1에 비해 농도, 온도 등의 가혹한 조건으로 인하여 이러한 특성을 보인 것으로 사료된다. 부식전위와 마찬가지로 부식전류밀도도 크게 변화하는 것은 입

⁺ 김성종(목포해양대학교 기관시스템공학부 교수), E-mail:ksj@mmu.ac.kr, Tel: 061)240-7309

⁺⁺ 김기준(한국해양대학교 기관시스템공학부 교수)

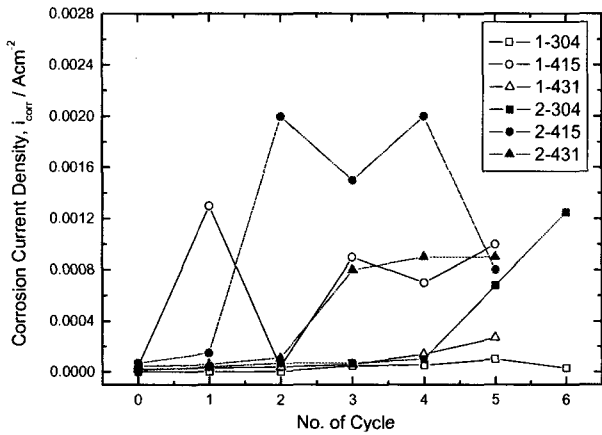


Fig. 2 모델 1과 2의 분극곡선으로부터 구한 부식전류밀도 비교

계부식이나 피팅과 같은 전기화학적 특성 해석에 아주 중요하므로 화학제염 공정 사이클 결정에 아주 중요한 팩터로 활용 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 3은 모델 1과 2의 경우 무게감량을 비교한 그래프이다. 전체적으로 모델 2가 가혹한 조건으로 인하여 모델 1에 비하여 많은 무게감량을 보여 주었다. 세 시편에서 304는 오오스테나이트계 스테인리스강으로서 크롬과 니켈의 양이 가장 많으며, 탄소량이 적기 때문에 내식성이 가장 우수하다. 이에 반해 415와 431은 마르텐사이트계 스테인리스강으로서 크롬과 니켈의 양은 적은 반면 강도를 향상시켰기 때문에 금속 내 잔류응력이 많이 존재하여 전기화학적으로 열악하다고 할 수 있으므로 304에 비해 내식성이 열악하게 나타났으며, 특히 415는 그 경향이 뚜렷하였다. 따라서 모재의 손상을 줄이기 위해서는 415와 431의 경우 제염시간과 온도를 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

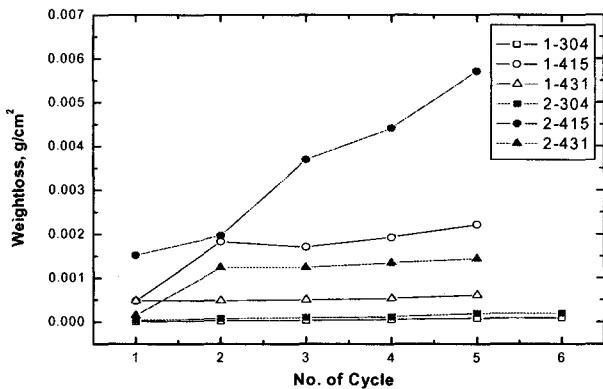


Fig. 3 모델 1과 2에서의 무게감량 비교

4. 결 론

전체적으로 사이클이 반복됨에 따라 분극실험, 무게 감량 실험 그리고 SEM 사진 관찰 결과, 304는 가장 안정된 경향을 나타낸 반면, 415와 431은 전기화학적으로 불안정한 특성을 나타내어 304에 비해 높은 부식 특성으로 인한 무게 감량을 나타냈다. 사이클 증가에 따른 세 시험편에 대한 부식 경향은 304는

대체적으로 완만한 상승을 보인 반면, 415는 피팅이 산발적으로 발생한 후, 그 피팅이 점진적으로 커지거나, 피팅과 피팅의 합체 현상이 나타나면서 거친 표면을 형성한다. 한편 431의 경우는 초기에 입계주위에서 산발적으로 피팅이 생성된 후 생성된 피팅의 밀도가 증가하고, 성장해 가면서 입계부식의 경향을 나타내기도 하며, 피팅의 성장도 동시에 이루어지기 때문에 피팅과 입계부식이 동시 관찰되었다. 인코넬 600의 경우도 431 스테인리스강과 유사하게 피팅과 입계부식이 동시에 나타나 입계부식의 경향은 431에 비해 보다 명확하게 나타났으며, 4 사이클에서 시편 전체에 걸쳐 완전한 부식이 발생하였으므로 실험을 종료하였다. 탄소강과 공구강은 1 사이클 종료만으로 극심한 부식이 전체적으로 발생하였으므로 실제 적용 시 상당히 어려움이 많을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] EPRI, "Source book for Chemical Decontamination of Nuclear Power Plants", Special Report, Project 2296-15, 1989.
- [2] R. L. Jones, "Prevention of Stress Corrosion Cracking in Boiling Water Reactors", NACE, MP, Vol. 26, No. 2, pp. 70-73, 1991.
- [3] K. R. Tretheway and J. Chamberlain, "Corrosion for Science and Engineering", Longman, pp. 69-129, 1995.
- [4] ASTM, "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements", Annual Book of ASTM Standards, G5, Vol. 03.02, pp. 63-73, 1994.
- [5] R. A. Speranzini, P. A. Burchart, & K. A. Kanhai, "Corrosion Response of Nuclear Reactor Materials to Mixtures of Decontamination Reagents", NACE, MP, Vol. 24, No. 3, pp. 67-72, 1989.