

분산제를 이용한 원전 증기발생기 슬러지 제거 방법 개선

장덕기¹, 송종순^{2*}

¹한수원(주)한빛본부, 전라남도 영광군 홍농읍 홍농로 846

²조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309번지

*duks2000@gmail.com

1. 서론

원자력발전소 증기발생기 2차계통에서 고온, 고압의 용수가 연속적으로 높은 유속으로 순환하여 운전되기 때문에 고순수를 사용하고 최적으로 수질관리를 하더라도 구성기기 및 배관으로부터 철산물의 용출 및 슬러지 생성은 피할 수 없다. 현재 원자력발전소에서는 취출계통(Blow-down)으로 슬러지를 일부 배출하고 있고 계획예방정비 기간에는 슬러지 랜싱과 화학세정을 실시하여 제거하고 있다. 본 연구는 국내 PWR 원전의 수질영향 검토 후 적절한 분산제를 주입하는 현장 적용 등의 방법을 검토하고, 시험기간에 분산제 적용 전후 슬러지 배출거동 조사 및 주입결과를 도출하여, 타 발전소에 확대 적용하는 가능성까지 고찰하고자 한다.

2. 분산제 특징 및 주입 방법 고찰

2.1 연구 발전소 2차계통 고찰

2.1.1 2차계통 수화학

2차계통의 수질관리 목표는 기기의 부식을 최소화 할 수 있도록 계통수질 부식을 억제할 수 있는 상태로 지속 유지함으로써 증기발생기와 다른 2차계통 기기 및 계통의 신뢰도를 확보하는 것이다. <Fig. 1>은 미국 내 원자력발전소에서 부식으로 인한 발전소 이용률 손실을 나타낸 것으로 수화학 관리기술의 발전 등 효과적인 부식억제가 수행됨으로써 원자력발전소 운영의 경제성과 안전성이 향상될 수 있음을 보여준다[1].

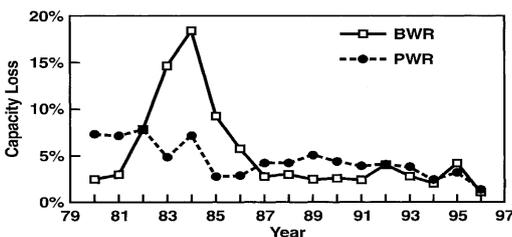


Fig. 1. Capacity loss at US power plants by corrosion.

2.1.2 2차계통 구성 및 계통 재료[2]

원전 2차계통의 구성은 크게 증기발생기 및 복, 급수계통 및 터빈·발전기 등으로 나눌 수 있다. 증기발생기는 1차측 열에너지를 2차측으로 전달해 증기를 생산하며, 터빈·발전기는 이 증기 운동에너지를 전기에너지로 바꾸어 전기를 생산한다. 이후 증기는 복수기에서 응축된 후 복·급수계통을 통해 가열 후 다시 증기발생기로 보내진다. 2차계통 재료의 부식 억제를 위해 원전에서는 pH 높게 유지하는 한편, 하이dra진 등의 화학약품을 이용 용존 산소를 매우 낮은 수준으로 관리한다.

2.2 분산제 특성 고찰

2.2.1 분산제 화학적 특성

분산제로 사용하는 PAA(Poly-Acrylic Acid)는 acrylic acid를 단위체로 하여 용액중합에 의해 합성되면, 중합개시제로 persulfate를 사용한다. PAA는 착화(chelation)와 분산(dispersion) 기능을 동시에 갖는데, 이러한 화학적 특성은 2차계통수 내에서 용출되는 철 화합물과 효율적으로 착화하고 분산시키는데 미국 ANO-2 원전에서 단기간 적용 시 보여준 분산제의 효율성은 <Fig. 2>과 같다.

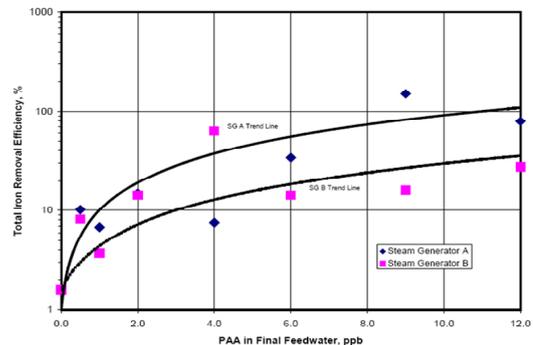


Fig. 2. Log mean iron removal efficiency Vs. PAA concentration in feedwater[3].

2.2.2 분산제 열분해 특징

PAA는 고온에서 열분해하기 때문에, 이를 분산제로 사용할 경우에는 그 분해특성을 고찰할 필요

가 있는데, 그 특징을 요약하면, 반감기는 약 45분(270°C), 열분해 산물(유기산, 지방족 화합물)로 인한 계통영향은 미미한 수준일 것이라 판단된다.

2.3 분산제 현장 적용 연구 결과

2.3.1 분산제 주입 설비 및 준비

증기발생기에 분산제 주입을 위하여, 약품농도, 유량, 저장용량, 보충계획 등을 사전에 준비하였고, 기타 관련 기기 및 운전방법 등도 미리 산정하여 준비하였다.

2.4 분산제 적용

2.4.1 분산제 주입에 의한 2차계통 수화학 영향

분산제 주입에 따라 2차계통 수화학 어떤 영향을 미치는지 추이를 관찰하였다. pH나 TOC 등은 2차 수화학 환경에 거의 영향을 주지 않으며, 열분해에 의한 유기산의 영향으로 발생될 양이온 전도도의 경우도 약간 증가하였을 뿐, 큰 영향은 없는 것으로 나타났다.

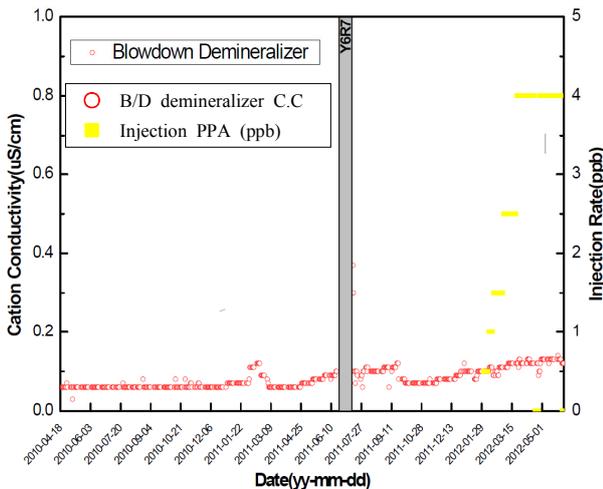


Fig. 3. Trend of cation conductivity.

2.4.2 증기발생기 내 슬러지 제거

분산제 주입에 따라 실제 증기발생기 내 슬러지가 얼마나 제거가 되는지 효과를 평가하기 위해서, 취출수 계통 필터 차압 변화와 증기발생기 내 철 성분 추이 변화를 모니터링하였는데, 차압은 큰 변화를 관찰 할 수 없었지만, 증기발생기 철농도는 down-comer에서 약 6.42배, 고온관에서는 약 5.04배 배출되는 현상을 보여, 증기발생기 내 슬러지 제거에 효과가 있는 것으로 판단된다.

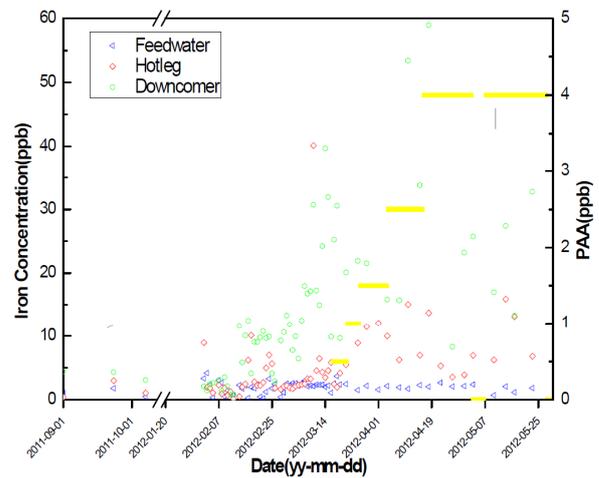


Fig. 4. Trend of iron concentration during the injection of PAA.

2.4.3 타 원전 확대 적용 및 향후 과제

본 사례는 증기발생기 습식보관시 사용하는 하이드라진 약품펌프를 임시변경하여 이용하였다. 다른 표준원전도 분산제 약품주입탱크와 연결배관 등 몇가지만 추가한다면 분산제 주입을 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

분산제 주입에 따른 2차계통 수화학 환경에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났고, 슬러지 제거 효과도 뛰어난 것으로 평가된다. 열성능 변화 관찰 결과도 소량 개선되었음을 확인할 수 있었다.

향후 분산제 주입후 철농도나 약품농도 분석방법을 좀 더 용이한 방법으로 개선한다면, 다른 노형의 원자력발전소에도 적용해도 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] P. Robbins, P. Frattini, "Dispersants for Tube Fouling Control Volume 2 : Short-Term Trial at ANO-2", EPRI 1003144, Final Report (2001).
- [2] 최종안전성검사보고서, 한빛 3발전소.
- [3] K. Fruzzetti, "Dispersants for Tube Fouling Control, Volume 3: Qualification for a Long-Term Trial in a Replacement Steam Generator Tubed with Alloy 690 TT", EPRI 1002774, Final Report (2002).