

복합아민 적용에 따른 원전 2차 계통 부식생성물 거동평가

정현준·이인형[†]·김영인

Evaluation of Corrosion Product Behavior in NPP Secondary System with Complex Amine

Hyunjun JUNG, In Hyoung RHEE[†] and Young In Kim

(Received 11 June 2014, Revised 4 July 2014, Accepted 4 July 2014)

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the water treatment of pressurized water reactor secondary side by the mixed amine of ammonia and ethanalamine, from the standpoint of corrosion control, as compared with all volatile treatment of ammonia. The pressurized water reactor systems have switched a secondary side pH control agent to minimize the corrosion in the moisture separator/reheater and feedwater heater systems and the transport of corrosion products into steam generator. As results of field test, pH was increased in the steam generator and the wet steam area of moisture separator/reheater and the concentration of Fe were decreased by more than 50% as compared with water treatment of ammonia.

Key Words : NPP secondary system(원전 2차계통), Corrosion product(부식생성물), Complex amine(복합아민)

1. 서론

원자력발전소 2차 계통은 물/증기 순환계통으로 탄소강 배관의 부식을 억제하고 증기발생기 내부로 유입되는 부식생성물의 양을 최소화하기 위해 계통수의 pH와 산화-환원전위를 제어하고 있다.¹⁾ 특히 온도 및 pH는 탄소강 부식의 주요인자로 계통수의 철 농도는 150°C에서 최대값을 나타내며, pH 값이 증가할수록 감소한다.(Fig. 1)²⁾ 원자력발전소 2차 계통의 pH 제어는 70년대 인산염 처리에서 NH₃을 사용하는 전회발성처리법으로 전환된 후 80년 후반부터 계통 재질 및 운전특성 등을 고려하여 다양한 아민이 사용되고 있다. 국내 가압경수로 원자력발전소의 경우 한울 1, 2호기는 암모니아

(NH₃), 그 외의 발전소에서는 NH₃보다 증기발생기 건전성 유지 측면에서 우수한 에탄올아민(ETA)을 사용하고 있다.

원자력발전소 2차 계통은 Fig. 2와 같이 급수, 증기발생기, 터빈, 추기, 냉각 및 복수 계통으로 구성되어 있으며 계통별 운전 온도 및 압력은 각각 상온에서부터 300°C이하, 상압에서부터 3000psi이하로 액상, 증기 및 습증기영역이 공존한다. 따라서 원자력발전소 2차 계통 운전조건에 따른 최적의 pH 제어제는 모든 운전온도에서 기/액 분액율이 1인 아민이다. 하지만 NH₃ 경우 온도에 따른 상대휘발도가 물 보다 높아 증기발생기 및 추기계통의 pH가 다른 계통보다 낮고, ETA의 경우 온도에 따른 상대휘발도가 물보다 낮아 복수계통의 pH가 다른 계통보다 낮다. 따라서 원자력발전소 2차 계통 전 영역에서 고 pH를 유지하기 위해서는 NH₃와 ETA를 동시에 주입하는 복합아민 수처리 기술을 적용해야 한다.

[†] 책임저자, 회원, 순천향대학교(에너지환경공학과)

E-mail: ihrhee@sch.ac.kr

TEL: (041)530-1506 FAX: (041)530-4728

* 순천향대학교(화학·환경공학과)

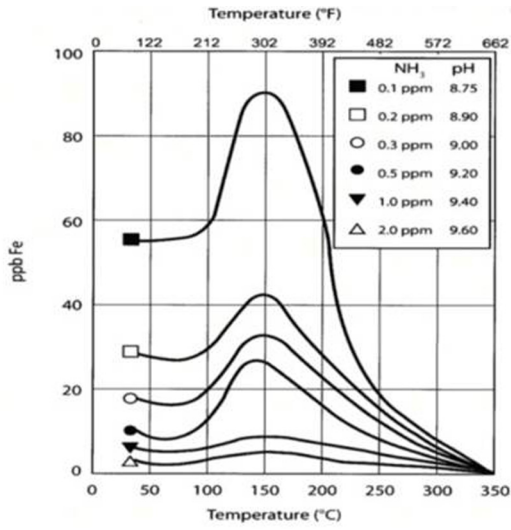


Fig. 1 Iron solubility at pH and temperature with NH₃

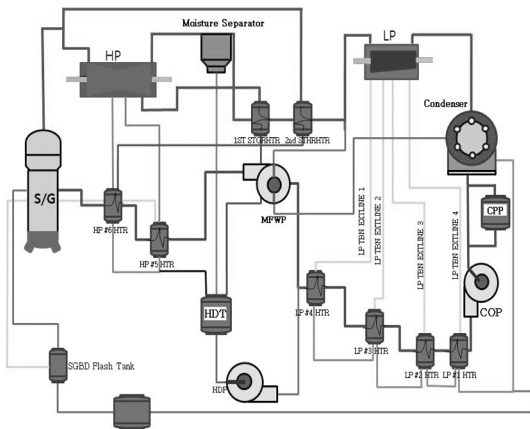


Fig. 2 PWR Secondary System

본 연구에서는 기존 pH 제어제인 NH₃와 새로운 pH 제어제인 복합아민의 성능을 비교하기 위해 한울원자력발전소 2호기를 대상으로 현장시험을 실시하고 계통별 철 농도를 분석하여 부식생성물 거동을 평가하였다.

2. 시험조건, 시료주입 및 채취

원자력발전소 2차 계통의 pH 제어제에 따른 부식 생성물의 거동을 평가하기 위해 한울원자력발전소 2호기를 대상으로 Table 1과 같이 하이드라진(N₂H₄)의 농도를 150ppb로 유지한 상태에서 NH₃와 ETA의 농도를 단계적으로 변화시켜 주입하였다.

Table 1 Injection of NH₃ and ETA concentrations

단계	약품 농도(ppb)		
	NH ₃	ETA	N ₂ H ₄
Base	1300	0	150
1단계	800	1600	150
2단계	900	1600	150
3단계	1000	1800	150
4단계	1200	1800	150

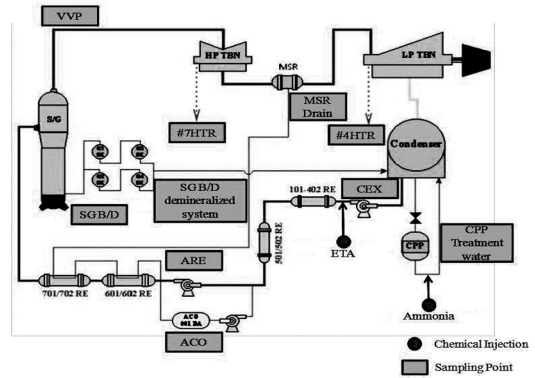


Fig. 3 Chemical injection and Sampling point

원자력발전소 2차 계통의 약품 주입위치와 계통별 시료 채취 위치는 Fig. 3과 같다. 약품 주입 위치는 NH₃의 경우 복수탈염설비(CPP) 후단에서 주입하였고 ETA의 경우 복수펌프 후단에서 주입하였다. 계통별 시료 채취는 복수(CEX), 주급수(ARE), 증기발생기(S/G), 주증기(VVP), HP/LP/TBN 배수(#7, 4HTR), MSR 배수(MSR Drain) 및 배수회수계통수(ACO)에서 채취하였다. 채취한 시료는 pH, NH₃, ETA 및 N₂H₄의 농도, 철(Fe) 및 구리(Cu)의 농도를 측정하였다.

3. 시험결과

3.1 계통별 NH₃, ETA & N₂H₄의 농도

Fig. 4는 계통별 NH₃, ETA & N₂H₄의 농도이다. NH₃는 CEX, #4HTR, #7HTR, ARE, VVP, S/G, ACO, MSR 순서로 농도가 높았고, ETA는 MSR, S/G, ACO, VVP, ARE, #7HTR, #4HTR, CEX 순으로 농도가 높았다. N₂H₄의 경우 MSR, S/G, ARE, ACO, VVP, #7HTR, #4HTR, CEX 순으로 농도가 높았다. 물보다 상대휘발도가 높은 NH₃의 경우 복수 및 저압펌프 추기 계통의 농도가 높았으며, 물보다 상대휘발도가 낮은 ETA의 경우 습분분리기 및 재가열기와 증기발생기에서 농도가 높았다.

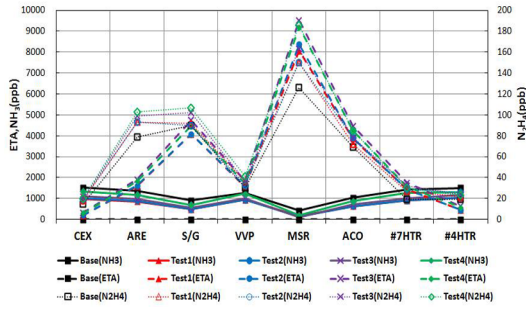


Fig. 4 Concentration of NH₃, ETA and N₂H₄

3.2 계통별 pH

Fig. 5는 계통별 pH(25°C)와 pH(T)이다. 복합아민 처리시 모든 계통에서 pH(25°C)가 9.5이상이었으며, 특히 MSR, SG, ACO에서 pH(25°C)와 pH(T)가 증가하였다. pH(T)는 NH₃을 주입할 때 보다 복합아민 처리시 대부분의 계통에서 높았으며, 절대값은 CEX, MSR, ACO, #4HTR, #7HTR, ARE, S/G, VVP 순으로 증가하였다. 또한 증가율은 MSR, ACO, S/G, ARE, #7HTR, VVP, CEX, #4HTR 순으로 높았다. pH(25°C)는 복합아민 처리시 절대값은 MSR, ACO, ARE, #7HTR, VVP, CEX, #4HTR 순으로 높았으며, 증가율은 MSR, ACO, S/G, VVP, ARE, #7HTR, CEX, #4HTR 순으로 높았다.

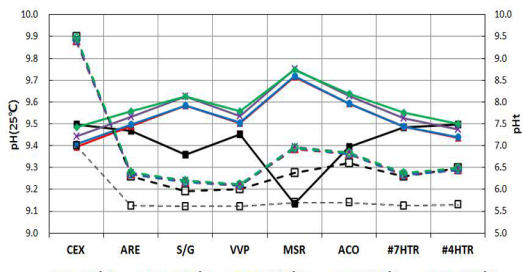


Fig. 5 pH and pH(T)

3.3 계통별 철(Fe)과 구리(Cu) 농도

Fig. 6는 계통별 철과 구리의 농도이다. 복합아민 처리시 NH₃ 처리 보다 계통별 철과 구리의 농도가 낮아 졌으며 특히, 습증기 및 추기 계통에서 더욱더 감소하였다. 계통별 철 농도는 S/G, ACO, #7HTR, #4HTR, MSR, ARE, CEX, VVP 순으로 높았으며, 구리 농도는 S/G, #4HTR, #7HTR, ACO, MSR, ARE, CEX, VVP 순으로 높았다.

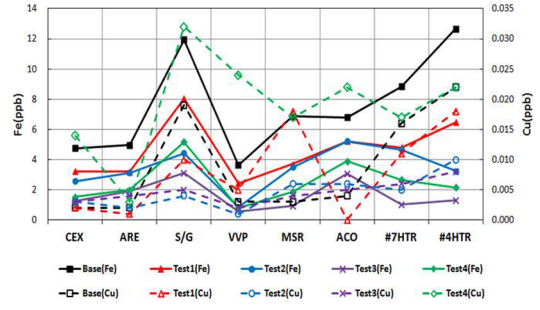


Fig. 6 Concentration of Fe & Cu

3.4 부식생성물 거동

원자력발전소 2차 계통의 부식생성물 거동은 부식 생성물인 철의 질량균형을 이용하였으며, 계통별 철 농도는 3단계 시험조건의 값을 사용하였다. 원전 2차 계통의 부식생성물은 증기발생기, 고압터빈, 습분 분리 및 재가열기, 저압터빈, 복수기, 고압 및 저압급수 가열기 등의 설비와 각 설비를 연결하는 배관에서 생성될 수 있다. 본 연구에서는 증기발생기를 제외한 각 설비와 복수 및 급수 배관의 부식만을 고려하였다. 또한 증기발생기 내부에서 발생한 부식생성물은 추가로 증기발생기에 축적된다.

Fig. 7은 원자력발전소 2차 계통별 부식생성물 거동이다. 증기발생기로 유입된 철의 침적 양은 77g/day, 주급수 펌프에서 복수 및 급수 배관의 철 생성량은 5.1g/day, 재열기와 급수가열기 철의 철 생성량은 39.1g/day이었다. 또한 주증기에서 고압터빈 철 생성량은 25.1g/day, MSR과 저압 터빈 철 생성량은 10g/day, 저압급수 가열기와 복수기에서 철 생성량은 53.0g/day이었다. 따라서 철 생성량이 가장 많은 계통은 저압급수 가열기와 복수기로 조사되었다.

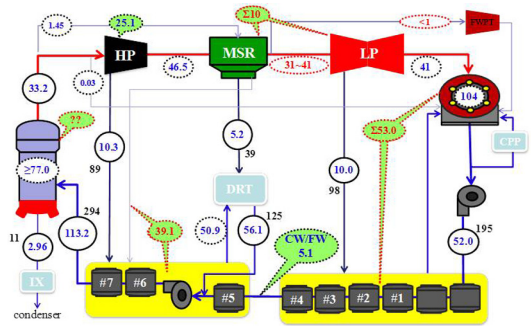


Fig. 7 Behavior of corrosion product in NPP secondary system

원자력발전소 2차 계통 pH 제어제를 NH₃에서 복합아민으로 변경한 경우 전체의 부식생성물 발생량은 294g/day에서 113.2g/day로 61.5%가 감소하였고, 증기발생기 blowdown으로 유출된 부식생성물 발생량은 11g/day에서 2.96g/day로 73.1%감소, 복수펌프 출구 부식생성물 발생량은 195g/day에서 52g/day로 73.3% 감소, 습증기 영역의 부식생성물 발생량은 125g/day에서 56.1g/day로 55.1% 감소하였다. 또한 고압터빈에서 급수 열교환기로 유출되는 추기배관의 부식생성물 양은 89g/day에서 10.32g/day로 88.4%로 감소하였으며, 습분분리기 및 재가열기에서 유출되는 배수 중 부식생성물 양은 39g/day에서 5.2g/day로 86.7% 감소, 저압터빈에서 복수 열교환기로 유출되는 추기배관의 부식생성물 양은 98g/day에서 10g/day로 89.8% 감소하였다.

원전 2차 계통에서 생성된 부식생성물은 증기발생기에 56%가 침적되고, 복수탈염설비 및 증기발생기 취출수 이온교환수지에 의해 각각 38%, 2%가 제거되었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 pH 제어제인 NH₃와 새로운 pH 제어제인 복합아민의 성능을 비교하기 위해 한

울원자력발전소 2호기를 대상으로 현장시험을 실시하고 계통별 철 농도를 분석하여 부식생성물 거동을 평가하였다.

시험결과 원자력발전소 2차 계통 pH 제어제를 NH₃에서 복합아민으로 변경할 경우 전 계통에서 pH(25°C)가 9.5 이상을 유지하였으며 특히, 습분분리기 및 재가열기와 증기발생기에서 크게 증가하였다. 부식생성물인 철은 배관보다는 열교환기 shell side에서 주로 발생하였으며, NH₃에서 복합아민으로 변경할 경우 61.5%가 감소하였다. 또한 생성된 부식생성물은 증기발생기에 56%가 침적되고, 복수탈염설비 및 증기발생기 취출수 이온교환수지에 의해 각각 38%, 2%가 제거되었다.

참고문헌

1. K. Fruzzetti, 2006, "Pressurized Water Reactor Secondary Water Chemistry Guideline", Revision 6, pp. 2-1-2-3.
2. Bindi Chexal, Jeffrey Horowitz, Barry Dooley, Peter Millett, Chris Wood, Robin Jones, Michel Bouchacourt, Francosi Remy, Fancis Nordmann, Pierre Saint Paul and Wolfgang Kastner, 1998, "Flow-Accelerated Corrosion in Power Plnats", pp. 2-1-2-18.