

2025년 추계학술발표회

[2차계통 부식 저감을 위한 복수탈염설비 아민포화운전]

Breakthrough of Amine in Condensate Polishing Resin: A Method for High-pH Operation and Corrosion Reduction

2025. 10. 30. (목)

한국수력원자력 정소영

jeongso02@khnp.co.kr



CONTENTS

01 배 경

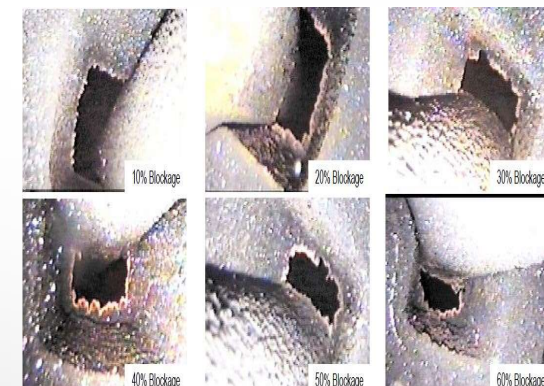
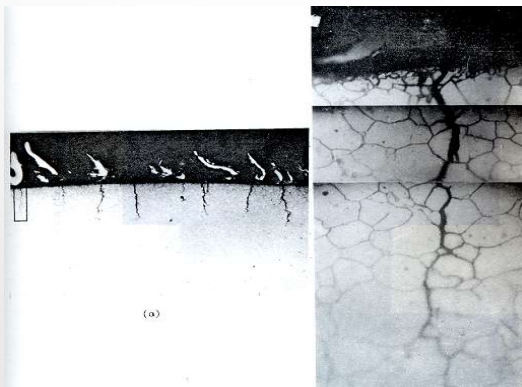
02 CPP 아민포화운전 개요

03 적용 결과

04 결 론

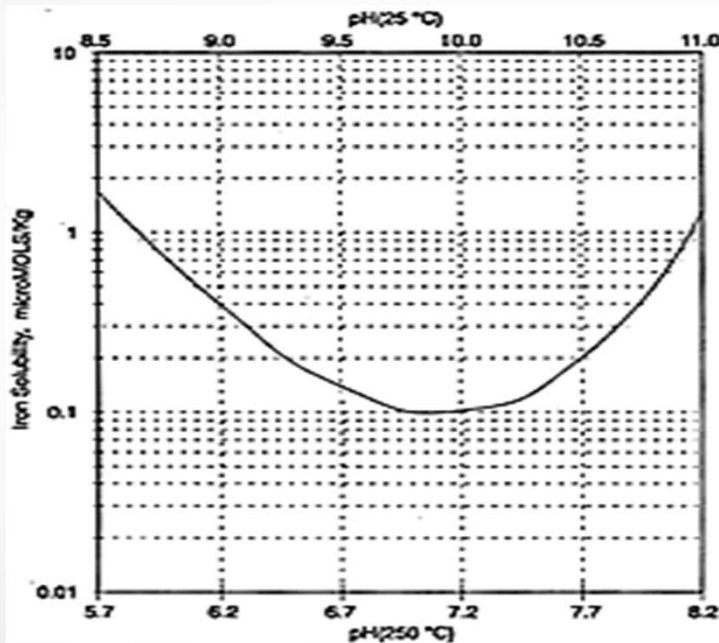
Background: FAC and Chemistry Control

- 가압경수로 원전 2차계통 주요 배관, 기기 등의 구성재료인 탄소강은 **유동가속부식(FAC)**에 의해 부식
- 부식생성물 → 벤츨리 및 급수 케이지 막힘현상, 증기발생기 유로홈막힘 및 응력부식균열의 원인



Background: FAC and Chemistry Control

- pH 9.6~10.0 범위에서 부식생성물(철) 용해도가 낮음
→ 탄소강 재질의 FAC 저감을 위해 9.7 이상의 높은 pH 유지 목표



Iron Solubility at 250°C versus pH

• 국내 원전 급수 pH 현황

연도	평균
2018	9.63
2020	9.67
2023	9.70
2025	9.77

관리기준은 8.8~10.0 범위이며,
2차계통 부식 저감을 위해 급수 pH를
지속적으로 높여 운전 중

Problem: Challenges in Increasing pH

- pH 조절제인 에탄올아민(ETA)의 주입량을 늘려 고 pH 운전 수행
→ 복수탈염설비 운전으로인해약품주입만으로 pH 상향에는 한계가 있음

약품사용량 증가

- 복수탈염설비에서 제거되는 ETA 보상을 위해 약품 주입량 증가

복수탈염설비 재생주기 단축

- 약품주입량 ↑
→ 복수탈염설비 수지 포화속도 ↑

재생폐액 발생량 증가

- 복수탈염설비 잦은 재생*
→ 재생 폐액 발생 ↑
* 황산, 수산화나트륨 사용

pH 상향 운전시 제약사항 해소를 위한 운전주기 연장방법 도출 필요

Concept of Amine Breakthrough

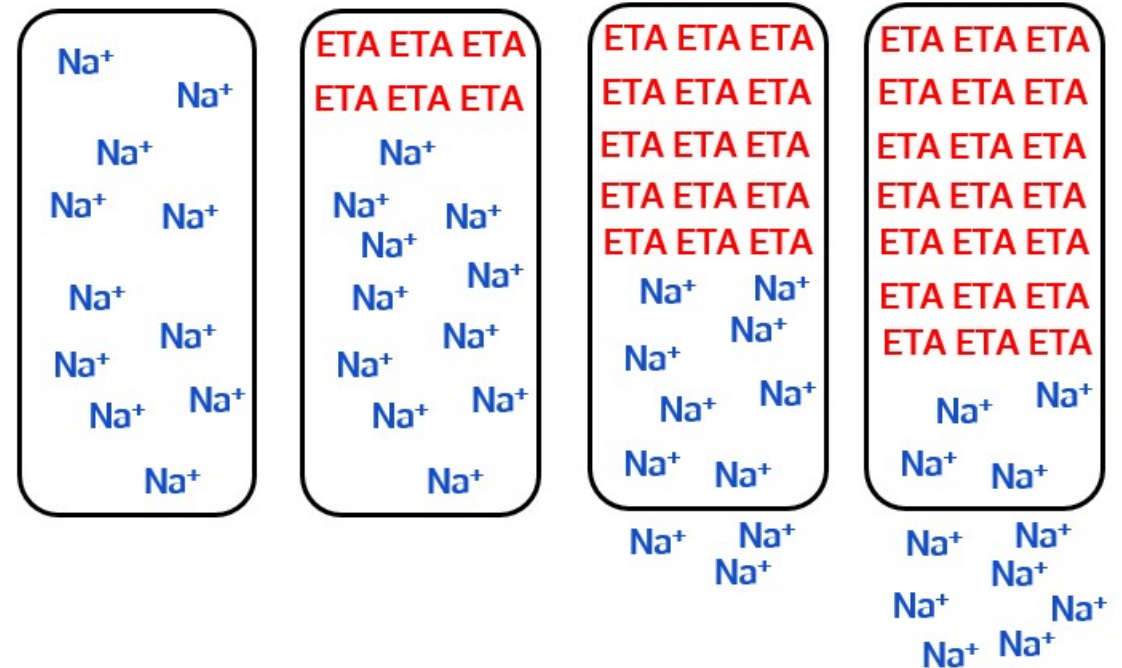
아민포화운전이란

복수탈염설비 양이온교환수지의 이온교환기를 수소에서 아민으로 치환된 상태로 포화운전하여 계통 pH를 높이는 운전 방법

현 행	아민포화운전
$(R)-SO_3^- H^+$ $(R)-CH_2N^+(CH_3)_3 OH^-$ $+ Na^+ \cdot Cl^-$ $+ ETA^+ \cdot OH^-$ $\downarrow$ $(R)-SO_3^- ETA^+, Na^+$ $(R)-CH_2N^+(CH_3)_3 Cl^-$ $+ H^+ \cdot OH^-$	$(R)-SO_3^- ETA^+$ $(R)-CH_2N^+(CH_3)_3 OH^-$ $+ Na^+ \cdot Cl^-$ $+ ETA^+ \cdot OH^-$ $\downarrow$ $(R)-SO_3^- ETA^+, Na^+$ $(R)-CH_2N^+(CH_3)_3 Cl^-$ $+ ETA^+ \cdot OH^-$
○ 계통수 내 불순물(Na^+, Cl^- 등) 제거 ○ pH 제어용 약품(ETA) 또한 제거 → pH 상향에 한계	○ 계통수 내 불순물(Na^+, Cl^- 등) 제거 ○ pH 제어용 약품(ETA) 농도 유지 → pH 상향

Na Blip

- 계통수가 탈염기를 통과하면서 수처리약품에 의해 이온교환수지의 포화가 진행됨에 따라 이온교환수지 내에 포함된 Na^+ 가 계통수에 Leak
- Na Blip 현상은 이온교환수지 내에 포함된 Na 함량과 계통수의 pH와 상관관계가 있으며 Na 함량 및 계통수의 pH가 높을수록 가속화되어 탈염기 출구수의 Na 농도를 상승시킴

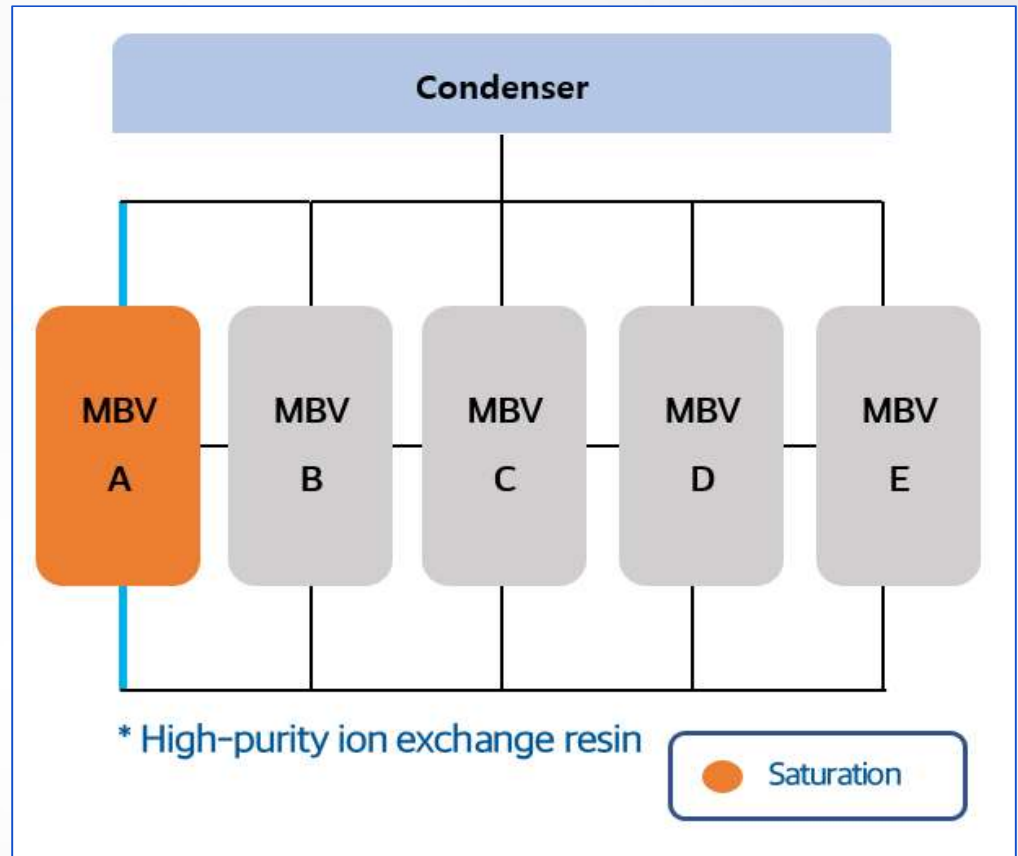


아민포화운전시 불순물 함량을 최소화한 고순도 이온교환수지를 사용하여
불순물에 의한 계통 영향 최소화

Trial at A plant Unit 3

● A 3호기 아민포화운전 시범 적용

- 기간: 2020년 4월 ~ 9월
- 이온교환수지 아민포화 과정에서 나트륨 누출(Na Blip)에 의한 계통 영향을 최소화 하기 위해 고순도 이온교환수지 사용
- pH: 9.57 → 9.77 (▲ 0.2)
- 철 농도: 3.74 ppb → 2.93 ppb (▼ 0.81)

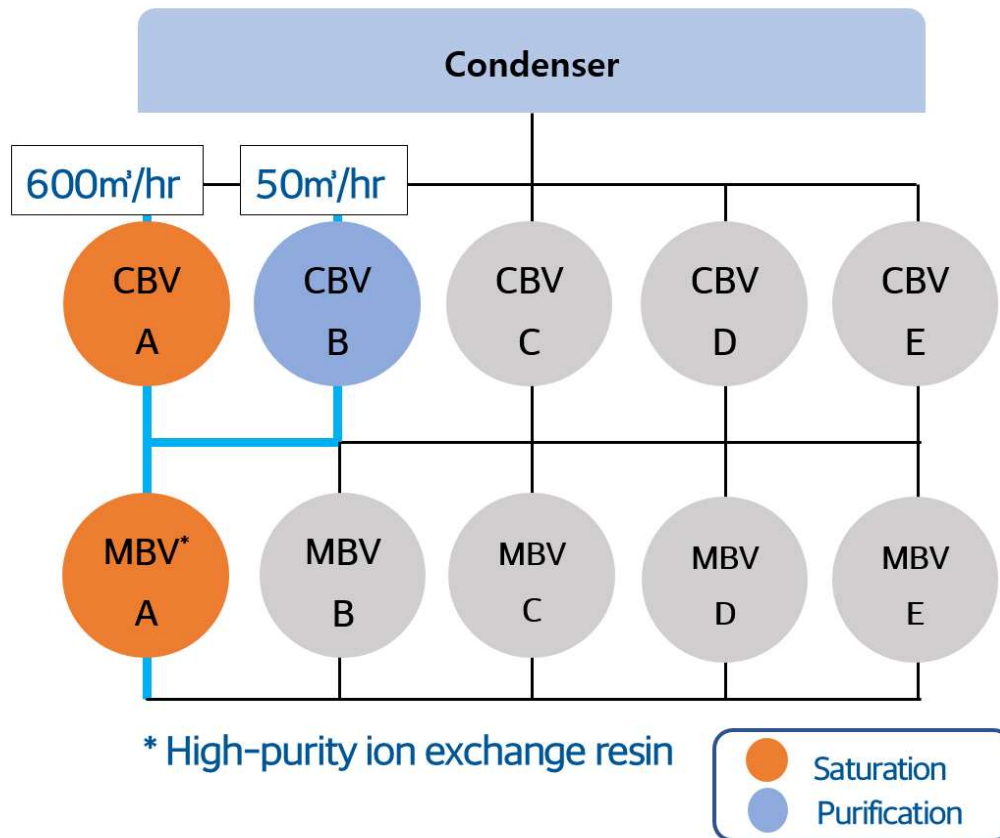


■ 결론

pH 상향에 따른 철 농도 개선 효과 있으나, 하이드라진 분해산물인 암모늄이온의 영향으로 pH 제어 어려움 확인

Improved Configuration for OPR/APR Units

표준형 원전 적용 개략도



- 양이온탈염기(CBV) + 혼상탈염기(MBV)

- 혼상탈염기: 고순도 이온교환수지 충전

- 정화용 양이온탈염기 추가 운전

- ① 하이드라진 분해되어 암모늄이온 생성

- ② 이온선택도에 의해 암모늄이온이 수지에 치환, 치환된 ETA는 배출 (나트륨도 함께)

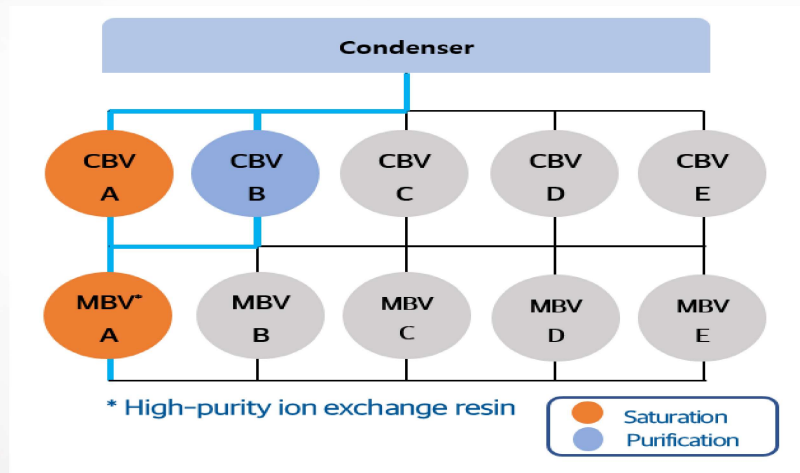
- ※ $H^+ \prec ETA^+ \prec Na^+ \prec NH_4^+$

- ③ 배출된 ETA 때문에 계통 pH 지속 상승

→ 암모늄이온, 나트륨이온 제거 목적으로 정화용 탈염기 최소 유량 운전

● [1단계]

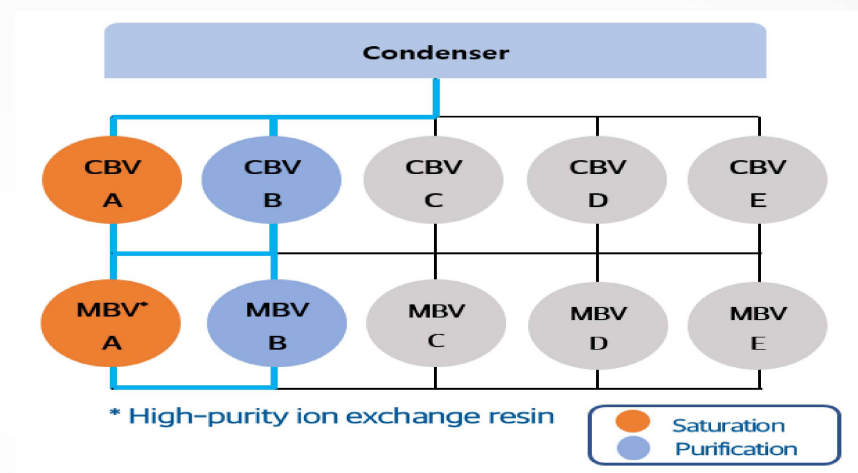
아민포화	정화
양이온탈염기 1대, 혼상탈염기 1대	양이온탈염기 1대



- 계통 pH 상승, 철농도 개선 효과 확인
→ 일반산업급 수지 사용 가능성 검토

● [2단계] 23.1.4~1.26 일반산업급 MBV 수지 사용

아민포화	정화
양이온탈염기 1대, 혼상탈염기 1대	양이온탈염기 1대, 혼상탈염기 1대



- 혼상탈염기 후단 Na Leak에 의해 계통수 Na 증가
→ 아민포화운전시 혼상탈염기는 반드시 고순도수지

Results: Chemistry Improvement

■ 급수 pH

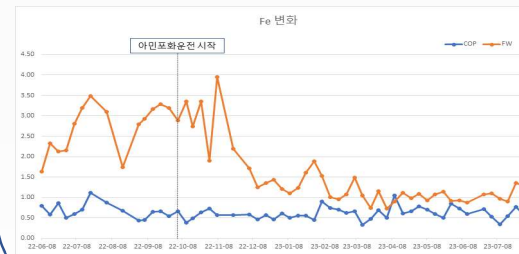
: pH 9.7 → 9.8 이상으로 상향 달성



구분(단위)	전	후	변화
FW(-)	9.77	9.87	△ 0.1
SG(-)	9.92	9.98	△ 0.06
COP(-)	9.39	9.61	△ 0.22

■ 급수 철(Fe) 농도

: 초기 감소 추세 이후 1ppb 근처에서 안정화

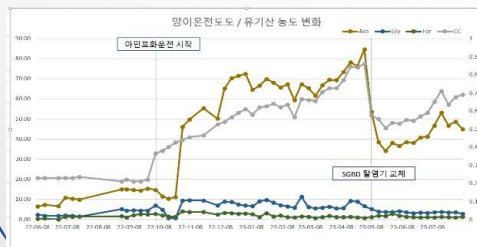


구분(단위)	전	후	변화
FW(ppb)	3.10	1.20	▼ 61.3%
COP(ppb)	0.68	0.61	▼ 10%

■ 증기발생기 양이온전도도(CC)

: ETA 분해산물인 유기산의 영향으로 상승함

※ 유기산: 휘발성물질로서 부식영향 적다고 알려짐



구분(단위)	전	후	변화
CC(μS/cm)	0.22	0.60	△ 0.38

■ 급수 약품(ETA, 하이드라진) 농도

: 하이드라진 가급적 낮게 유지



구분(단위)	전	후	변화(%)
ETA(ppm)	7.8	10.2	△ 31.1
N2H4(ppb)	112	54	▼ 52.9
NH3(ppm)	0.34	0.78	△ 129

Results: Operational Benefits



정량효과

구분	적용 전	적용 후	개선 효과
pH	9.77	9.87	▲ 0.10
Fe(ppb)	3.10	1.20	▼ 61.3%
폐수발생량(톤)	4,408	678	▼ 84.6%
약품사용량(톤)	52.7	7.3	▼ 86.1%
재생주기 (일)	7.5	60	▲ 8배
경제적 효과*	▼ 11.8억		

- EPRI TR-3002018287 「Qualification of the Effects of Dissolved Oxygen on FAC in PWR Second Systems(2020)」 : 철 1ppb가 FAC로 발생하는 발전소 비용을 \$ 675,000 산정 (물가상승분 적용)

정성효과

- (부식생성물) 2차계통 **부식생성물 감소**에 따른 계통 기기/배관 건전성 제고
- (파울링) 급수 벤츄리/증기발생기 전열관 **파울링 현상 개선효과** 기여
- (환경) 약품사용량 및 폐수발생량 저감에 따른 **환경영향 최소화**로 ESG 실현

- 가압경수로형 원전 2차계통 탄소강 부식 저감을 위한 **고pH 운전 필요성 대두**
- pH 상향시 제약사항 해소를 위하여 **복수탈염설비 아민포화운전** 개발 및 시범적용
- 이온교환수지 포화 과정에서 불순물 누출(Blip)에 의한 계통 오염을 방지하기 위해 **고순도 이온교환수지 사용**
- (WH형) 급수 pH 상향 및 철농도 저감 효과를 확인하였으나, 하이드라진 분해산물에 의한 **pH 제어 어려움에 대한 개선 필요사항 도출**
- (OPR형) 암모늄이온 제거를 위한 **정화용 양이온탈염기 운전으로 pH 제어**
- **급수 pH 상향, 철 농도 저감, 약품소모량 저감, 폐수발생량 저감, 재생주기 증가 효과 확인함**

- 복수탈염설비 아민포화운전 **절차 표준화**
- **OPR/APR 원전 복수탈염설비 아민포화운전 확대 적용**
 - 현재 B 발전소 5,6호기 적용 중
 - C발전소 6호기(11월), D발전소 2호기(12월), E발전소 2호기(2월) 등 순차적 도입
- 기술교류회를 통한 **아민포화운전 운전경험 지속 공유로 운전 절차 최적화**



THANK YOU

