

일반강연 II-4

고순수의 발전용수 생산을 위한 RO+IEX 공정에 관하여

박광규 · 김성율 · 김제평

한국전력공사 기술연구원 화학환경연구소

1. 서론

국내 산업 활동의 증대와 국민의 생활 수준 향상으로 전력 수요는 날로 증가하고 있으며 이에 따라 발전설비의 증설 및 신설이 불가피한 실정이다. 제한된 국토조건에 발전소 건설 부지 확보의 어려움과 함께 발전 용수원의 확보가 시급한 당면 문제로 대두되고 있다. 아울러 용수원의 부족과 함께 기존 용수원의 오염이 날로 심각하여 이에 대한 적절한 대처 기술이 시급하게 되었다.

현재 까지 발전용 보일러에 적절한 수질의 보급수를 생산 하기 위하여 이온교환 수지탑에 의존하고 있으며 이를 전력사업에 최초 도입한 것은 1963년인 삼척화력 #2호기로서 강산성 이온교환 수지인 Amberlite IR - 120을 이용한 硬水軟化裝置로서 기존화력 발전소의 Evaporator 만의 수처리의 기능을 크게 보강한 것이었다. 이후 '93년도 현재까지 26개 발전소에 약 73기의 이온교환수지 순수 생산 장치가 운용되고 있다.

최근 서울, 인천, 울산 화력 발전소 등에서 원수의 유기물 농도와 용존 염류등의 증가로 순수제조 장치인 이온교환수지 장치의 체수량이 설계치에 미달 되고 재생제의 사용량이 증가 하고있다. 또한 발전 설비가 대용량화 되고 초임계압 보일러(225Kg/Cm², 541℃)가 표준 모델로 채택됨에 따라 보다 고순수의 수질을 요구하고 있다. 현재의 아임계압 보일러에서도 기존의 이온 교환 수지탑만으로는 완전히 제거 되지 않은 유기물 등이 보일러 계통내로 유입되어 터빈등에 제반 장애를 유발한 경험도 갖게되었다. 따라서 본 과제에서는 용수원 수질이 악화 됨에도 고순수의 발전 용수를 안정적으로 공급하고자 기존 이온 교환수지탑 전단에 역삼투막 장치를 연결 운용하는 기술을 평가하고 이의 경제성을 일일 생산량 2000톤을 기준으로 원수 수질의 총고형물(TDS) 75mg/l, 150mg/l, 300mg/l 별로 구분하여 평가하였다. 아울러 공정별 생산수의 순도 시험도 실시하여 수질도 비교하였다.

2. 실험

우리회사의 가장 큰 화력 발전 단지인 울산화력발전소의 기존 순수제조 장치에 역삼투막 시험 장치를 연결하여 시험하였다. 표 1에 울산화력의 순수 제조 장치 일반현황을 기술하였다.

기본 공정은 그림1과 같으며 기존 순수제조 장치(a)와 이에 역삼투막 장치를 연결한 장치(b)로 구성하였다. 역삼투막장치의 설계 조건과 Membrane 사양은 표2와 같고 경제성 검토를 위한 원가 검토 기준은 표3과 같다.

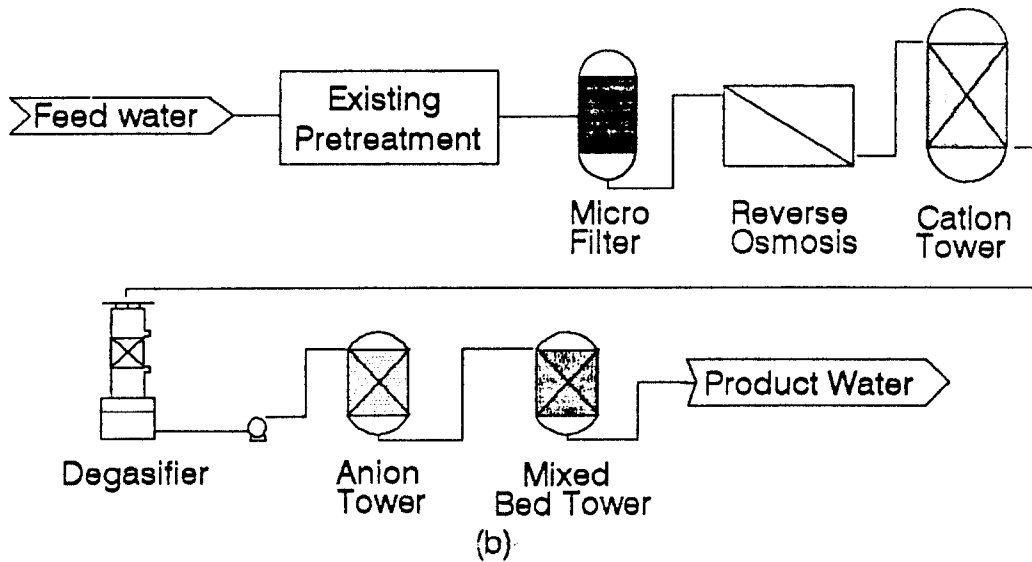
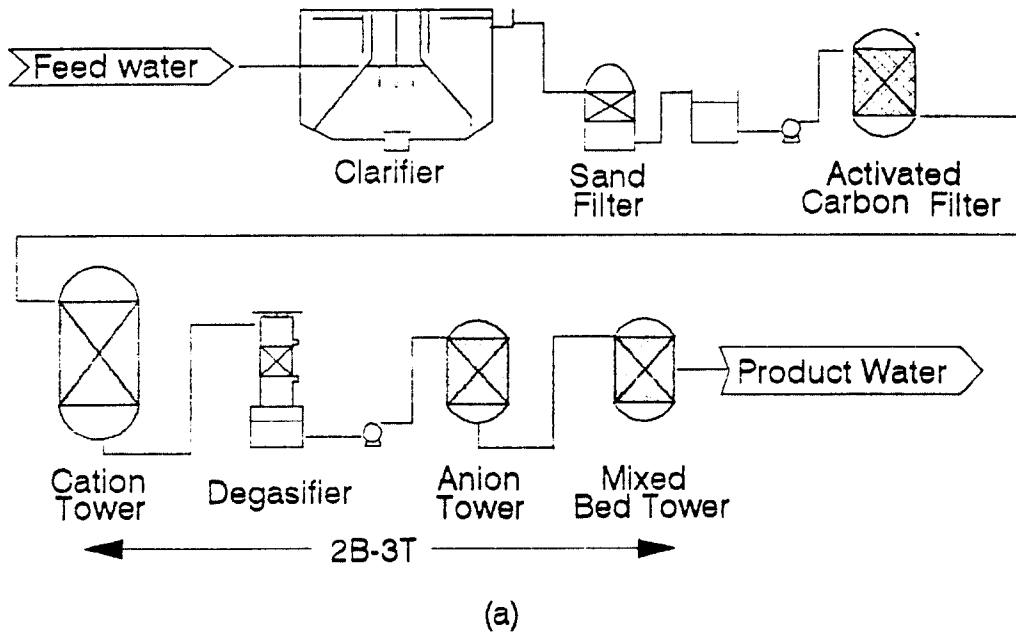


Fig 1 Schematic diagram of demineralized plant
 (a) Existing Ion Exchange System
 (b) Plant after RO retrofit

표1. 울산화력발전소 순수처리 장치 일반 현황

항 목		단 위	규 격	비 고
발전용량		MW	1800	총용량(6기)
순수생산 CHAIN수		기	6	
처리용량		톤/시간	60	
생산채수량(설계치)		톤/사이클	1360	
양이온수지	충진제 종류및 충전량	L	SK-1B(3300)	
	보충량(년)	%	5	
	재생제 종류및 사용량	Kg	8% Hcl, 620(35%)	
음이온수지	충진제 종류및 충전량	L	Lewatite M-504WS, 6600	
	보충율(년)	%	10	
	재생제 종류및 사용량	Kg	4%NaOH, 520(45%)	
혼	생산 채수량(설계치)	톤/사이클	10,420	
상 탑	충진제 종류및 충진량	양이온	L	SK-1B (850)
		음이온	"	Lewatite M-504WS, 850

표2. 역삼투막장치의 설계 요건 과 Membrane 사양

구 분	염수용 R/O		비 고
	Feed	Product	
Flow rate (M ³ /Hr)	20.0	15.0	
Recovery ratio(%)	75		
TDS (mg/l)	200	10	
SDI	5	-	
Membrane	제 작 사	UOP Fluid System	
	Type	Spiral wound TFC	
	재 질	Polyamide	
	규격(수량)	φ 8" · 40"L(18Ea)	
	Array	2 : 1 (Brine stage)	

표3. 원가 검토 기준

가. 원수 수질(PPM as TDS)

구 분	구 성	TDS	온 도	PH
기 준 1	Ca 35.8 HCO ₃ 32.7 Mg 26.7 SO ₄ 18 Na 12.3 Cl 24 SiO ₂ 5.8 NO ₃ 0.1	74.8	20℃	7.1
기 준 2	기 준 1 x 2	150	"	7.1
기 준 3	기 준 1 x 3	300	"	7.1

나. 적용 단가

순 서	항 목	내 역	비 고
1	동 력 비	₩ 30/KWH	
2	가성소다(as 45% soln)	₩ 246/Kg	
3	염 산(as 35% soln)	₩ 55/Kg	
4	ALUM(주 응집제)	₩ 180/Kg	
5	AID (응집 보조제)	₩ 374/Kg	

3. 결과 및 고찰

발전 용수원의 수질이 갈수록 악화 되고 있는 실정으로 특히 동절기나 갈수기 때 반복적으로 오염물의 농도가 증가 되어 순수 제조 설비의 오염도를 증가 시키고 있다. 기존 이온교환 수지탑으로는 유기물의 제거 능력에 한계가 있어 그대로 순수 제조 설비를 통과한 유기물 또는 미생물로 추정되는 물질의 함량이 증가 됨으로 인하여 보일러 계통내 응축수의 전기전도도가 기준치 이상으로 상승하는 현상을 겪은바 있다. 한 예로 '80년도 중반에 아산호를 용수원으로 사용한 평택화력에서 직접 경험한바 있어 불가피 하게 지하수로 용수원을 변경하였으나 지하수 역시 이온 염류 농도는 증가 추세에 있다.

본 시험이 수행된 울산화력 발전소에서는 이러한 현상까지는 나타나지 않았으나 '87.11 낙동강 하구언이 준공되어 염분 농도의 증가는 줄었음에도 생활 오수와 산업 폐수의 영향으로 유기물 농도가 증가되는 추세이고 이온 염류도 증가 하고 있다. 지난해 갈수기에는 전기 전도도가 약 400 μ S/Cm(설계치 200)로서 채수량이 820톤/Cycle('92.12)이 되어 설계치 1340톤/Cycle에 크게 미달 되었다.

그러나 기존의 2Bed-3Tower(Cation Tower, Anion Tower, Degasifier) 전단에 역삼투막 강체를 연결하여 시험 운전한 결과 기존 이온교환수지탑의 채수량증가는 물론 생산수의 수질이 현격히 향상됨을 볼 수있었다.

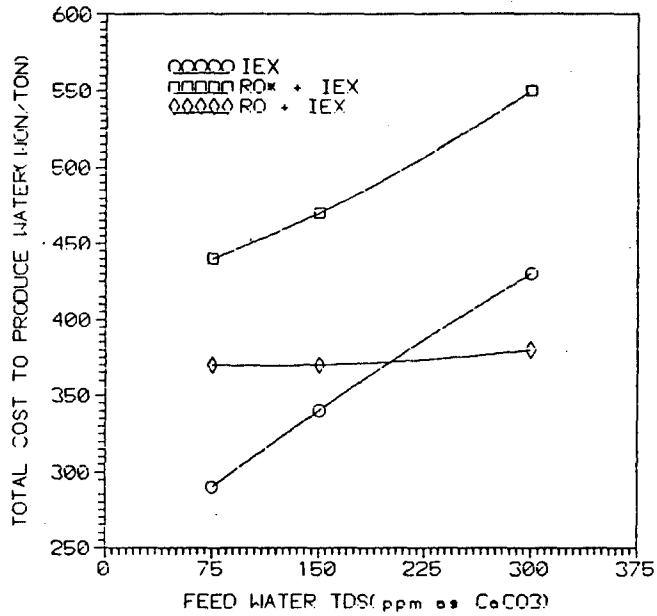


Fig.2 The Economical Comparison of the Combination of RO/IEX on FEED WATER TDS(at Count-current Reg)
 Cf, RO* + IEX : Partial flow RO(25') + IEX
 RO + IEX : Full flow RO(100') + IEX

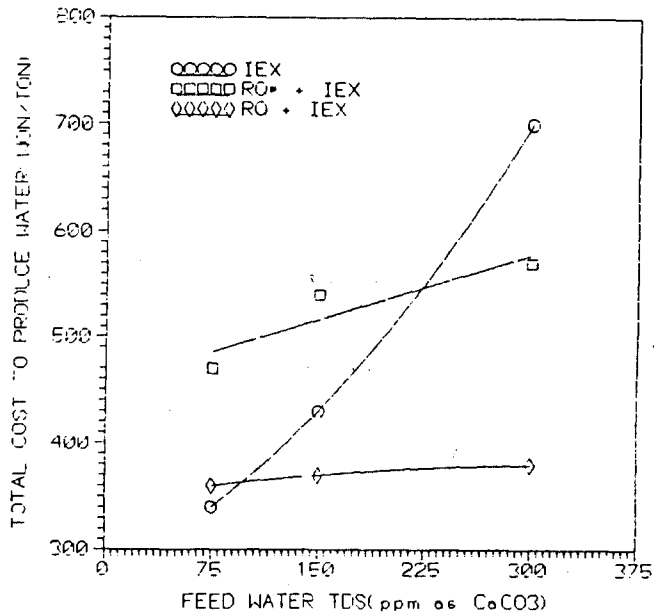


Fig.3 The Economical Comparison of the Combination of RO/IEX on FEED WATER TDS(at Co-current Reg)
 Cf, RO* + IEX : Partial flow RO(25') + IEX
 RO + IEX : Full flow RO(100') + IEX

항 목	W/O R O	WITH R O
Anion 출구수 전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2.7 - 3.3	0.2 - 0.4
MBP "	0.1	0.08 - 0.1
MBP 출구수 총 박테리아(colony)	15	5

기존의 이온 교환 수지탑과 그의 전단에 역삼투막 장치를 연결 운영시 경제성을 평가하기 위하여 순수 생산 단가를 수질에 따라 비교 검토 하였다.그림2는 울산화력 순수 제조 설비에 RO를 연결하여 시험한 결과를 비교한 것으로 그림에서 보듯이 RO+IEX 공정은 수질의 변화에 크게 영향을 받지 않으나 IEX는 상당히 영향을 받고 있음을 알수 있다.기존 이온교환수지탑 유입수의 25%를 RO로 처리하는 RO 부분 적용 공정과 RO를 이온교환수지탑 전단에 전량 처리하는 공정을 비교 하였다.그림2에서 보듯이 RO 부분 적용 공정은 수질 변화에 관계없이 경제성이 낮은 것으로 나타 났다.그러나 전량 RO로 처리한 공정은 TDS 약 200 mg/l 가 분기점으로 나타 났다. 이는 기존 이온교환수지탑의 재생 횟수를 크게 줄이기 때문에 재생약품비와 재생 폐액 처리 비용이 절감 되기 때문이다.본 RO 장치를 연결 시험한 울산 화력의 이온교환수지탑은 비교적 재생효율이 좋아 재생약품비가 적게 소요되는 항류식 재생방식으로 경제성 측면에서 이온교환수지탑에 유리한 경우이다. 그러나 발전소의 기존 수처리 설비의 약 80% 이상을 차지하는 병류식 재생 방식을 기준으로 검토한 결과를 보면 그림3과 같으며 부분 RO처리시는 역시 경제성이 낮아 수질이 TDS 225 mg/l로 크게 악화시만 경제성이 있으나 전량 RO 처리시는 TDS 약 110mg/l가 분기점으로 나타나 이수치는 국내 발전소 용수원의 갈수기 수질보다 낮은 값으로 나타났다.

4. 결 론

이상과 같이 기존 이온교환수지탑(2B-3T,MBP)의 전단에 RO 장치를 연결 시험 운전한 결과 다음과 같은 결과를 얻을수 있다.기존 IEX 장치가 항류 재생 방식 일 경우 대략 TDS 200 mg/l가 경제성 분기점으로 나타 났고,국내 발전소의 80% 이상을 차지하는 병류 재생 방식에서는 TDS 110 mg/l가 분기점으로 나타 났다.물론 처리수의 수질은 예상한 바와 같이 크게 향상 되었다.

더욱이 국내에서 발표된 RO + MBP의 분기점이 TDS 약 80mg/l 발표되고 있어 발전소의 심야 전력을 이용하면 더욱 경제성이 있을 것으로 생각되어 신규 발전소 건설시 RO + MBP의 공정을 깊이 있게 검토 하여야 할 것이다.

Reference

- 1.S.S.whipple, The economics of reverse osmosis and ion exchange, "Ultrapure water",oct.1987.
- 2.이온교환수지의 혼합 사용 결정 및 탈염 장치 효율 향상 방안 연구,한국전력공사 기술연구원,1988.
- 3.담수화에 관한 연구,한국 전력 공사 기술연구원,1990.