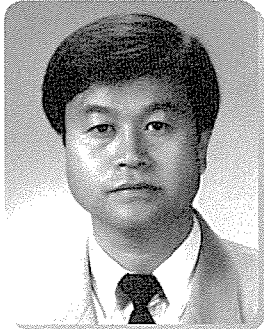


國內 電力事業에서의 水處理技術 開發現況

Development of water treatment technology for power plant



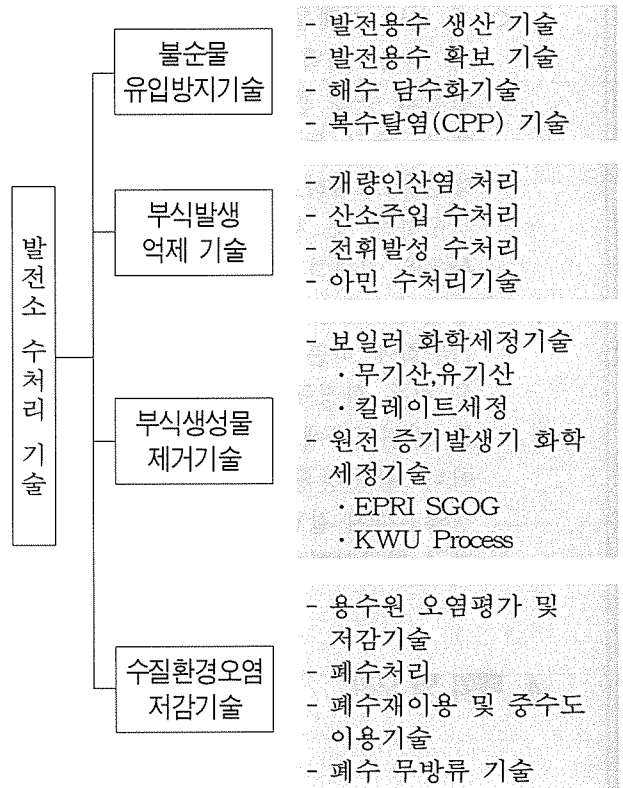
한전전력연구원 발전연구실
책임연구원 박광규 박사
Tel : (042) 865-5460

1. 서론

발전소는 화석연료 또는 원자력에너지로 부터 전기 에너지를 얻기 위하여 에너지 전달매체로서 물을 사용한다. 따라서, 발전설비의 주기기인 보일러, 증기터빈, 복수기 및 급수가열기 등의 건전성은 사용하는 발전용수의 수질과 수처리방법에 따라 큰 영향을 받는다. 과거보다 발전소 보일러설비는 효율향상을 위하여 고온, 고압화되는 추세에 따라 부식환경은 더욱 악화되고, 다양한 형태의 발전설비가 운용되고 있어 각 설비 특성에 맞는 최적의 수처리기술 개발이 요구되고 있다.

최근에는 전력사업의 민영화 및 시장개방 등으로 전력사업에 경쟁원리가 도입됨에 따라 발전설비의 건전성을 유지하고 운영비용 절감을 위한 기술개발이 새롭게 부각되고 있다. 아울러 설비운영의 경제성향상과 함께 환경오염을 최소화하는 기술도 요구되고 있다. 수처리기술의 궁극적인 목표는 발전설비의 부식을 방지하여 건전성을 향상시키고 설비효율 및 이용율을 향상시켜 설비의 최대수명을 확보하는데 있다. 이를 위하여 그림1과 같이 발전계통내로의 불순물유입방지, 계통내의 부식발생억제 및 퇴적된 부식생성물의 제거 등 3가지의 관리항목을 생각할 수 있다. 모든 보수개념이 그렇듯 최근에는 불순물 유입방지나 부식발생 억제에 치중하는 예방보수개념이 우선적으로 고려되고 있다.

본고에서는 국내 전력사업을 주도하고 있는 한국전력공사의 전력연구원에서 최근 약 10년간에 걸쳐 수행하여 현장에 적용하고 있는 수처리기술을 중심으로 수처리 기술개발 현황을 기술하여, 열병합 발전 운영에 활용코자 한다.



[그림 1] 수처리기술의 주요 연구분야

2. 수처리기술의 요소기술

가. 기술의 정의 및 기술환경 분석

1) 기술의 정의

발전소가동에 필요한 고순도의 발전용수 생산기술, 보일러계통 부식저감과 수명연장을 위한 계통수 수질관리기술, 발전소 폐수처리, 및 증기발생설비의 스케일을 화학약품으로 제거하는 화학세정 기술로 대별된다.

산업화와 인구증가에 따른 환경오염으로 양질의 공업용수 확보는 발전소 부지확보와 함께 날로 어려워지고 있다. 그러나, 발전설비는 효율개선을 위하여 고온고압화 및 대용량화됨에 따라 고순도의 보급수 수질이 요구되고 있어 문제는 더욱 심각해진다. 발전에 필요한 양질의 고순수를 안정적으로 생산공급하는 것이 발전용수 생산기술이다.

아울러 고순수를 생산공급하여도 증기발생설비는 고온, 고압상태에서 비등 및 응축현상이 반복되어 순환되기 때문에 계통재료의 부식이 발생되며, 화학약품 처리로 이러한 부식을 방지하는 기술이 계통수 수질관리 기술이다. 이와 같은 부식방지 활동에도 증기발생설비를 장기간 운전함에 따라 전열면에 스케일이 부착되지 않을 수 없으며, 이를 화학적 처리방법으로 제거하는 기술이 화학세정기술에 속한다. 이러한 과정에서 불가피하게 발생하는 폐수를 적절하게 처리하여 공업용수로서 재이용하는 기술도 수처리기술의 범주에 포함된다.

2) 기술환경분석

발전소 효율향상을 위하여 발전설비가 격상용량화(아임계압 → 초임계압 → 초초임계압) 됨에 따라 부식저감을 위한 고도 수처리기술과 보다 고순도의 보급수 공급을 요구하고 있으며 이에 관련된 기술개발은 당면문제로 대두되고 있다.

(가) 국외

미국은 미국전력연구소(EPRI, Electric Power Research Institute) 주관으로 수처리 기술을 개발중이며 특히, 고압 보일러에는 산소주입 수처리 기술을 개발 적용하고 있고, 원전증기발생기에는 전회발성 수처리법과 아민 수처리법을 병행하고 있으나 아민수처리법의 개발적용이 활발하다. 일본은 중앙전력연구소(CRIEPI, Central Research Institute of Electric Power

Industry)를 중심으로 산소주입 수처리법을 개발하여 일부 적용하고 있으며 원전 수처리는 전회발성 수처리법을 개량한 고(高) 하이드라진 처리법을 적용하고 있다. 유럽은 이미 산소주입법을 연구적용하고 있으며 원전에는 몰포린을 주요기술로 적용하고 있다. 선진국의 대부분은 모든 발전소가 확일적으로 단일 수처리 기술을 적용하는 것이 아니고, 각 발전소별로 설비 사양과 특성에 맞는 고유 수처리법을 개발하여 적용하고 있다. 각 나라별 연구주체들을 살펴보면 보일러계통 부식저감기술의 개발은 미국의 EPRI와 보일러 제작사인 ABB/CE사, B&W사 등이 주도하고 있다. 프랑스의 EDF, Framatom사, 독일의 Siemens KWU사, 일본의 CRIEPI 등도 기술개발을 추진하고 있으나 미국의 연구결과에 크게 의존하는 추세이다. 원전의 증기발생기 수처리기술은 미국의 EPRI가 주도하고 이에 Westinghouse, ABB/CE 등의 제작사가 가담하고 있다. 한편 캐나다의 AECL, 온타리오 하이드로사, 유럽의 EDF, KWU사 등도 독자적 기술을 개발하고 있다. 수처리제의 개발과 판매 등은 Nalco, Betz 등과 같은 수처리전문업체에 의해 이루어지고 있다. 한편, 순수생산을 위한 수처리 신공정은 미국의 Ionics사, Hydronautic사 등에 의해 개발되고, 이들기술을 현장 적용시 수많은 기술자문회사가 뒷받침하고 있다.

(나) 국내

고순수 생산은 반도체 회사 위주로 기술을 적용하고 있으나 국외 엔지니어링 회사 기술에 의존하고 있는 수준이며 계통 수처리기술은 발전소와는 달리 주로 저압보일러를 운영하고 있어 새로운 수처리기술 개발보다는 고전적 수처리 기술을 적용하고 있는 실정이다. 국내 수처리업체에서는 막분리기술에 사용되는 수처리용 Membrane을 일부 국산화하여 생산하고 있고, 순수생산과 폐수처리를 위한 시스템화도 시도하고 있다. 발전용수생산 및 폐수처리설비 업체는 중소기업들이 난립되어 있으나 기술력이나 자본력에서 선진국에 크게 못미치는 편이며, 발전용 보일러 수처리기술은 한전이 주도하고 있는 실정이다. 한편 원자력발전소의 수처리기술은 한국원자력연구소에서 일부 수행하고 있으며 몇몇 대학에서 기초연구 수준으로 수행중에 있다.

(다) 한국전력공사 전력연구원

국내에서 유일하게 종합 수처리기술을 보유하고 있

으며 국내의 수처리 기술을 선도하고 있다. 특히 초임계압 보일러에 적용할 산소주입 수처리법을 개발하여 현장 적용중에 있으며, 향후 용수부족에 대비하여 고효율 담수화기술과 폐수재이용기술을 개발적용중에 있다. 아울러 최근 습식탈황설비가 운영됨에 따라 탈황 폐수처리 공정 최적화를 비롯한 탈황운영기술을 개발중에 있다. 또한, 보일러설비의 형식이 다양하고, 보일러압력이 고압화됨에 따라 각설비 특성에 맞는 최적 수처리법을 개발하고 데이터베이스화하여 현장에 적용하고 있다. 증기터빈의 부식원인을 규명하고 이의 대책을 제시하는 연구도 진행중에 있다. 아울러 국내 원전의 특성에 맞는 수처리기술을 개발중이며, 슬러지퇴적을 최소화할 수 있는 에탄올아민(ETA) 수처리기술을 개발하여 증기발생기를 교체한 고리#1 호기에 적용중에 있다. 기존의 전회발성 처리법의 단점을 개선하기 위하여 기액분배율이 낮은 advanced 아민수처리법과 유사 발암물질로 분류된 보일러 수처리제인 하이드라진 대체약품의 개발과 적용연구도 수행 예정이다.

나. 요소기술

1) 발전용 고순수생산 및 폐수 재이용기술

화력 및 원자력발전소의 보급수를 생산공급하는 기술이다. 이 기술에는 이온교환수지법, 막분리법, 연속탈이온기술 및 증발법 등이 있다. 최근에는 고순수를 생산하기 위하여 유기오염물을 탁월하게 제거할 수 있는 막분리기술의 연구가 가장 활발하나, 각 수처리 방법의 장점을 연계·혼합하여 시스템화하는 것이 근래의 추세이다. 또한, 약품 사용량을 최소화하고 폐수를 발생시키지 않는 연속탈이온기술의 개발이 환경오염 저감차원에서 부각되고 있다. 발전용수원 확보기술로서 비교적 가용(可用) 용수량이 풍부한 해수 담수화기술도 이에 포함되며, 담수화기술에는 막분리법과 증발법등이 연구되나 경제성향상에 치중하고 있다.

2) 보일러 수처리기술

화력발전소의 주기기인 보일러의 부식방지와 수명연장을 위한 수질관리기술이다. 최근에는 열효율향상을 위하여 보일러의 고온·고압화 추세에 따라 보일러수처리의 중요성이 더욱 증대되고 있으며, 예방적

차원의 수처리기술로서 강조되고 있다. 본기술에는 전회발성 처리법, 산소주입 수처리법, 인산염처리법 등이 있으나 관류형보일러는 산소주입수처리기술이 개발 및 적용되고 있는 추세이고, 드럼형보일러는 인산염처리시 잠복(hidden-out)현상이 빈발하여 이의 대책연구가 요구되고 있으며, 스케일성장속도가 아주 빠른 발전소는 산소주입 수처리기술을 일부 적용하고 있다. 또한 인체에 유해한 약품으로 분류된 탈산소제인 하이드라진의 대체약품과 환경오염방지를 위한 환경친화 처리제(green inhibitor)의 개발도 이에 포함된다.

3) 원자력발전소 수처리기술

원자력발전소의 수명연장과 직결된 증기발생기의 전열관 부식방지와 수명연장을 위한 수질관리기술이다. 세계적으로 가동중인 원전의 증기발생기 부식문제는 공통적으로 경험하고 있으며, 우리공사도 10년이상 경과한 발전소에서 부식현상이 발생되고 있어 이의 대책이 요구된다. 적용수처리법은 인산염처리, 전회발성처리, 몰포린처리 등이 있고, 국내 PWR은 전회발성처리법을 적용하고 있고, PHWR은 몰포린을 적용하고 있다. 최근에 계통수의 pH를 증가시키기 위하여 pH 조절제로서 기액분배율이 낮은 아민계통의 처리제를 선정하여 습증기 영역에서의 부식율을 크게 낮추는 추세이다. 아울러 전면부식 형태는 크게 감소하였으나, 증기발생기내 틈새(crevice)부위에서 국부부식(localized corrosion)이 빈발하여 부식환경을 개선시킬 수 있는 crevice chemistry도 이 범주에 속한다. 아울러 수화학 제반 인자들을 입력하여 증기발생계통내 주요부 수질을 예측하고 부식율을 최소화하기 위한 원자력발전소 호기별 최적의 수화학예측진단(chemWorks) 데이터베이스화와 코드개발도 포함된다.

4) 터빈보호를 위한 수처리기술

주요 발전설비의 하나인 증기터빈의 부식 방지를 위한 수질관리 기술이다. 특히 저압 터빈의 blade와 disk의 결함에 영향을 주는 수화학 환경의 원인 규명과 상변화부위(PTZ, Phase Transition Zone)의 부식환경 파악이 중요하다. 적용 수처리법에 따라 각 터빈 부위별 droplet size의 측정과, 각각의 blade에 퇴적된 스케일의 성분분석 등을 통하여 최적의 수처리 프로그램을 개발하게 된다.

5) 복합화력 수처리 기술

복합화력의 배열회수보일러(HRSG, Heat Recovery Steam Generator)의 최적 수처리 기술이다. 순환형 보일러는 인산염 처리시 처리제의 잠복(Hide-out)현상이 빈발하고, 저압부위는 FAC(Flow Accelerated Corrosion)가 발생되어, 이의 메카니즘을 규명하여 최적 수처리법을 제시하여야 한다. 아울러 발전설비의 기동, 정지시의 수질관리 방안과 용존산소를 제어하는 기술도 고려되고 있다.

6) 증기발생기 및 보일러튜브 화학세정기술

화학약품을 사용하여 발전소 보일러튜브내 스케일을 제거하여 보일러 효율을 향상시키는 기술이다. 본 기술에는 무기산 세정, 유기산 세정, 인산염 세정 및 EDTA 세정 등이 있으나, 최근에 관류형보일러는 주로 유기산계통의 약품을 사용하고 드럼형보일러 및 원전증기발생기는 EDTA계통의 세정제를 이용한 화학세정공정을 개발하여 적용하고 있다. 그러나, 고온에서 모재금속 부식율이 작고 무공해 세정제의 개발과 화학세정 공사시간을 단축할 수 있는 고온 세정공정의 개발이 앞으로의 과제다.

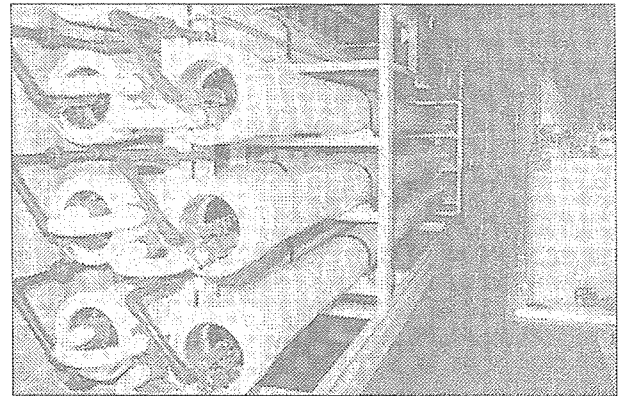
3. 주요 연구개발 현황

가. 발전용수 생산기술

발전용수 생산기술분야의 연구실적은 표1과 같다. 국내 발전소에 이온교환수지탑이 최초 도입된 것은 삼척화력 제2호기 건설시로서 강산성양이온 교환수지인 Amberlite IR-120을 사용한 경수연화장치가 설치되어 당시 기존의 evaporator를 대신한 것이다. 이온교환수지탑의 설치로 보다 양질의 보일러수 공급이 가능해져 보일러튜브의 열화사고가 크게 감소하고 수처리기술 발전의 큰 전환점이 된 것이 사실이다. 이후 현재까지 용량에는 다소 차이가 있으나 30개 발전소에 약 93기가 운전중에 있다. 이들제품은 6개사의 37종으로 약1,436m³의 이온교환수지가 사용되고 있다.

국내 산업활동이 활발하고, 인구가 증가함에 따라 수질오염이 점차 심화되어 발전용수원이 오염됨에 따라 이의 원인규명과 대책수립연구가 시작되었다. 유기물 오염물이 심화된 용수원을 효과적으로 처리할 수 있는 막분리기술의 적용연구가 시작되었으며, 아울러 절대용수량이 부족함에 따라 수량이 풍부한 해수의

담수화 연구도 수행되었다. 초임계압보일러의 등장과 용수원의 오염정도가 심화됨에 따라 보다 고순도의 순수를 생산할 수 있는 이온교환수지와 막분리기술을 혼합한 혼합공정이 개발되어 태안화력과 평택화력에 적용되었다. 양질의 발전용수를 생산하기 위하여 이온교환법과 역삼투막법을 조합한 RO(Reverse Osmosis) + IX(Ion Exchange)공정은 매우 경제적이며, 처리수의 순도도 크게 향상될 수 있다는 것이 확인되었다. 기존 이온교환수지가 향류재생방식인 경우 대략 TDS 200 mg/l가 경제성 분기점이고, 국내발전소의 약80%이상을 차지하는 병류재생방식에서는 TDS 110mg/l가 분기점으로 나타났다. 신규설비로 RO + MBP설계시 TDS는 약80 mg/l로 크게 낮출수 있다. RO + MBP공정은 수처리설비를 증설하는 울산 제3발전소(용수원 : 낙동강)의 순수생산설비에 채택되었다.



[그림 2] 역삼투막을 이용한 고순수생산 연구시작품 사진

나. 폐수처리 및 재이용기술 개발

우리나라의 물수요는 갈수록 늘고 있지만 '94년부터 강우량이 줄고 가뭄이 계속되면서 용수공급예비율은 '94년 7.6%에서 2001년에는 2.1%까지 떨어지고 2006년부터는 용수부족현상이 우려되고 있다. 또한 수질오염이 날로 심화됨에 따라 폐수 배출규제는 점차 강화되고 있는 추세이고, 폐수처리비용도 점차 증가될 것으로 예상된다. 이와 같이 변화하는 환경속에서 발전용수를 원활히 확보하여 전력생산에 차질이 없도록 하는 한편 발전용수와 폐수처리비용을 절감하기 위한 적절한 대책으로 경제적인 폐수처리 기술개발과 처리된 폐수의 재이용기술은 폐수처리비용의 절감과 함께 환경보전에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

[표 1] 발전용수 생산기술 연구실적

번호	과 제 명	기 간	연 구 내 용	효 과
1	평택화력 수질오염 원인규명 및 대책연구	'84.3~'85.4	- 계절별 발전용수 수질 분석 및 변화 조사 - 기존 수처리설비 성능평가	- 순수생산 장애요인 해소 (수질오염 원인규명으로 순수생산 관리방법 개선)
2	이온교환수지의 혼합사용결정 및 탈염장치의 효율향상 방안 연구	'86.1~'88.2	- 이온교환수지 혼합사용시 문제점 조사 - 유동상 이온교환수지의 국산 대체방안 강구 - 순수생산 및 복수탈염처리설비의 효율개선방안 제시	- 이온교환수지 국산대체로 외화 및 경비절감 - 신규발전소 신재생방법채택 (보령3, 4호기, 삼천포 3, 4호기 외 다수적용)
3	담수화에 관한연구	'88.6~'90.5	- 담수화방법 및 특성조사 - 역삼투막장치 공정개발 - 역삼투막에 의한 해수 담수화 특성시험	- 추자내연에 설치 발전용수 및 생활용수 공급 - 울산화력에 MRO설치하여 순수생산 경제성 평가
4	역삼투막장치를 이용한 양질의 순수생산 연구	'92.4~'94.3	- 역삼투막 + 이온교환수지 pilot설치 및 성능시험 - RO real plant + 이온교환수지 성능 및 경제성 평가	- 용수원 수질에 따른 최적의 순수생산공정 확립 - 후속기 용수원개발시 활용
5	국산수지 대체사용 위한 호환성 평가시험	'98.8~'99.12	- 혼합수지 특성평가시험 - 실기적용 현장시험	- 이온교환수지의 국산대체 사용에 따른 외화절감
6	Packed bed시스템 적용 연구	'00.2~'00.10	- Packed bed시스템 설계, 현장적용 및 경제성 평가	- 생산수질 향상, 채수량증가 및 재생약품비 절감

[표 2] 발전소 폐수처리 및 재이용기술 연구실적

번호	과 제 명	기 간	연 구 내 용	효 과
1	발전소폐수처리설비 운영개선방안연구	'87.3~'89.3	- 발전소별 설비현황조사 및 분석 - 폐수처리설비 운영개선 방안수립	- 원전 폐수처리설비설계에 반영 - 발전소 용수사용량 및 폐수처리비 절감
2	역삼투막을 이용한 봉산수중 실리카 제거장치개발	'94.5~'97.4	- 원전 출력조절약품인 봉산수의 정화처리 시작품개발 - 각종 RO막의 봉산화수/실리카 제거효율 시험	- 핵연료 피복재 손상방지 및 방사성폐기물 발생량 최소화 - 봉산수교체 및 폐기물처리비 절감
3	발전소 배수재이용 연구	'95.3~'97.12	- 발전소배수 및 폐수재이용 기술개발 및 현장적용 - 재이용공정 및 최적 폐수처리 시스템 개발 - 폐수 고도산화처리법 개발	- 발전용수 확보 및 폐수 배출규제 강화에 대처 - 배수재이용에 의한 용수 및 폐수처리비 절감
4	탈황 폐수처리 최적 공정 개발	'00.3~'02.3	- 폐수분석법 확립 및 COD 유발 원인 규명 - 최적처리(COD,F)공정개발	- 탈황설비의 안정적 운영 - 수질오염저감및 경제성향상

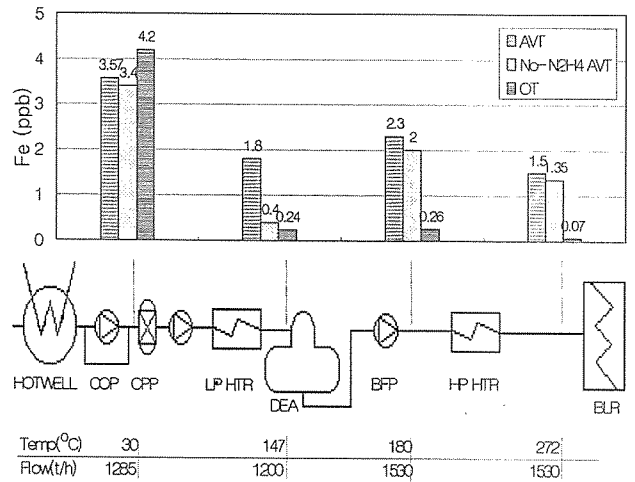
따라서 전력연구원에서는 “발전소 배수 재이용 기술개발” 과제를 통하여 폐수의 경제적처리기술 개발과 함께 폐수재이용율을 높이기 위하여 표준화력발전소를 대상으로 발전소 배수재이용 최적시스템을 표준화하였다. 이의 적용시 현재 15%수준에 머물고 있는 배수재이용율을 60-65%수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 아울러 방류수 재이용기술의 실증시험을 위하여 역삼투막장치를 설계, 제작하여 울산화력 제3 발전소에 설치하여 발전소 폐수를 처리한후 황성탄 입구수로 유입시켜 발전용수로 재이용할 수 있게 하였고, 순수생산설비와 겸용으로 사용할 수 있도록 설계하여 경제성을 높인 것이 특징이다. 한편 일반적인 방법으로 처리에 용이하지 않은 화학세정폐액을 고도산화법인 펜톤반응, UV/펜톤반응, UV/과산화수소반응, 오존반응, 광촉매반응 등을 중심으로 시험 평가한 결과 펜톤반응이 유기산세정폐액을 가장빠른 시간내에 처리할 수 있음을 확인하였고, 다음으로 광촉매반응이 30시간내에 COD를 규제치 이내로 처리할 수 있었다. 탈황폐수의 경제적처리와 무방류(zero-discharge) 시스템의 개발/적용이 향후과제가 된다.

다. 부식발생억제를 위한 계통수처리기술 개발

증기발생계통의 수질관리 체계는 종래의 bulk용액내의 불순이온농도를 측정하는 수질관리수준 단계에서 점차 보일러 또는 증기발생기내 최종유입수의 부식생성물(주로 철또는 구리산화물)의 농도관리로 바뀌고 있다. 이는 수처리의 최종목표인 부식발생의 최소화와 함께 예방보수개념으로 미연에 부식발생을 최소화시키는 것이다. 따라서 최근 미국의 전력연구소의 목표는 철합금으로 구성된 발전소는 화학세정을 실시하지 않고, 구리합금이 포함된 발전소는 화학세정주기가 10년이상 되도록 수질관리 목표를 수정하여 채택하고 있다. 국내보일러의 화학세정주기가 3-4년임을 감안하면 시사하는 바가 크다.

한편, 전력연구원에서는 초임계압보일러가 공사내 표준석탄발전소의 표준모델로 선정됨에 따라 이에 적용할 산소주입수처리기술을 개발하여 초임계압보일러의 선행호기중의 하나인 태안화력 #2호기에 시범적용한 결과는 그림3과 같으며, 보일러 전부위에서 FAC(flow accelerated corrosion)부식현상이 크게 감소하여, 최종 보일러입구수에서 철분농도가 약 1/20로 저감됨이 확인되었다. 독성이 강한 하이드라진 약품사용대

신에 미량의 산소를 보일러계통에 주입하므로써 암모니아 주입량도 크게 줄이고 방식효과도 커서 경제적이고, 환경친화적인 수처리기술로 평가되고 있다. 이의 적용으로 경제성, 운전안전성, 환경대책등이 크게 향상되어 산소주입수처리기술이 고효율의 수처리기술이 확인되어 표준보일러에 조기 확대 적용될 전망이다.

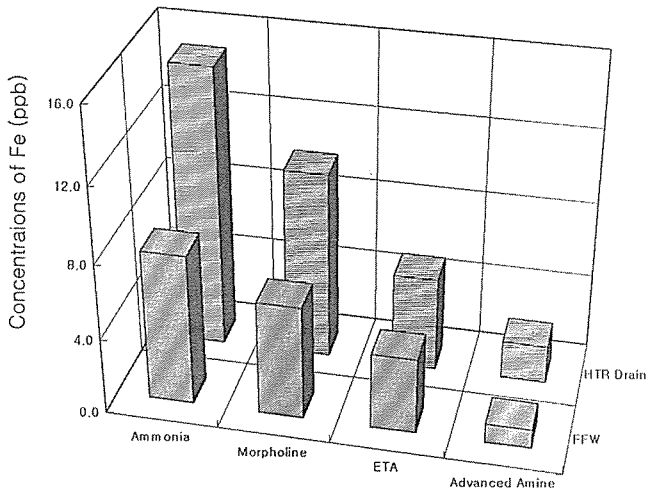


[그림 3] 태안화력 산소주입 수처리법 적용에 따른 계통 부식생성을 발생 저감추이

또한 원자력발전소의 증기발생기는 원전수명(40년)과 직결될 뿐만아니라, 전열관 부식손상에 의한 안전 운전 등에 많은 지장을 초래하므로 증기발생기 전열관의 손상방지를 위한 수처리기술개발은 매우 중요한 과제가 되고 있다. 일반적으로 전열관의 부식은 부식생성물이 퇴적되어 부식분위기를 조성하여 여러종류의 국부부식(Pitting, SCC, Denting, IGSCC, Corrosion Fatigue 등)을 유발시키므로, 이러한 부식분위기 조성을 미연에 방지하기 위한 2차측 슬러지 퇴적방지의 수처리기술이 요구되고 있다.

따라서 원자력발전소의 2차계통은 부식에 취약한 부위만을 효과적으로 방식처리할 수 있는 아민수처리법의 개발 및 적용이 요구되었다. 이를 위하여 우선적으로 외국에서 적용하여 좋은 효과를 얻고 있는 에탄올아민(ETA)수처리법을 고리 #1호기 증기발생기 교체와 동시에 적용키 위한 과제로 “고리#1호기 ETA 적용연구”를 수행하고 있다. 약품주입량을 최소화하기 위하여 염기도가 높은 아민약품을 선정하고, FAC에 취약한 부위만을 효과적으로 방식하기 위하여 휘발도가 비교적 낮은 약품을 선정하였다. ETA약품을 고리 #1 증기발생기 교체후 부터 적용중에 있으며 부식생

성물의 생성이 약 1/2로 감소함을 보이고 있다. 그림4는 고리#1를 대상으로 약품종류별 부식발생정도를 chemWORKs code로 평가한 결과이다. 고리#1호기에 우선 에탄올아민 약품을 적용한 후 보다 효과적인 advanced amine을 선정하여 국내 PWR원전에 확대적용하여, 증기발생기의 건전성을 유지코져 한다.



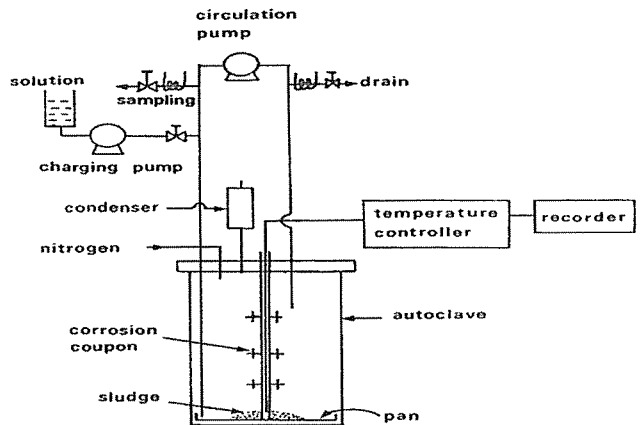
[그림 4] 고리1호기 아민약품종류별 부식생성물의 거동예측

라. 화학세정약품 국산화 및 공정개발

화력발전소의 열효율향상과 보일러튜브 열화방지의 목적으로 주기적으로 화학약품을 사용하여 보일러튜브 내면에 부착된 스케일을 제거하고 있다. 종래에는 주로 염산과 유기산을 세정제로 사용하였으나 취급의 안전성과 세정효과의 증대를 위하여 킬레이트약품을 주세정제로 사용하는 ACR(alkaline copper removal)세정법이 도입되어 적용하였으나 세정약품을 전량 국외에서 수입하여 사용하였다. 이의 대체약품을 개발하기 위하여 “ACR화학세정약품 국산화 및 공정연구개발”을 수행하여 주세정제로 EDTA(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid)를 38% 함유한 Tetraammonium EDTA로 대체하여 사용할 수 있도록 하고, 공사내 보일러에 적합한 세정공정을 확립하였다. 개발약품과 공정을 복제주화력#2호기 실적용에 성공하여 이후 전 발전소 확대 보급토록 하였다. 이의 표준공정은 제철공정시 액성은 환원성분위기를 유지하고, Tetraammonium EDTA를 4-6%, 부식억제제 0.15%, 온도 130-150°C 이고, 제동공정시는 제철공정과 동일한 용

액을 사용하고 필요시 Tetraammonium EDTA를 추가하나 공기주입으로 액성을 산화성분위기로 유지한다.

한편, 원자력발전소의 증기발생기 2차측내에 퇴적된 슬러지가 부식환경을 조성하여 전열관이 열화부식현상이 발생되므로 이의 슬러지를 제거하기 위하여 슬러지랜싱등의 물리적방법으로 제거하나 튜브bundle이 복잡하여 잔존하는 슬러지량은 운전시간증가에 따라 점차 증가하는 추세에 있다. 따라서 전력연구원에서는 이의 슬러지를 화학세정약품으로 제거하기 위한 원전 화학세정 기술을 개발하여 자체기술로 고리2호기 증기발생기 화학세정을 수행함에 따라 원전 화학세정기술의 국산화에 성공하였다. 이는 증기발생기 유지보수 기술중의 주요 국산화기술중의 하나이다. 표준공정은 제철 및 제동공정으로 구분되며, 제철공정의 운전조건은 10-20% Diammonium EDTA, 1% N2H4, 0.75% CCI-801 (inhibitor), 온도 93°C이며, 제동공정은 5% Diammonium EDTA, pH9.5 with EDA, 3% H2O2, 온도 38°C이다. [그림 5]는 화학세정공정 개발을 위한 순환 시험장치의 개략도이다.



[그림 5] 화학세정 공정 개발 순환시험장치 개략도

마. 냉각수 처리기술 개발

수도권 복합화력발전소의 대형 냉각탑설비는 국내 발전소에 처음 도입되어 운영하는 설비이다. 이설비의 운영상 특징은 용수사용량이 많고 냉각계통에서 스케일발생 경향이 매우 높다는 것이다. 이러한 스케일을 억제하기 위하여 다양한 종류의 수처리제가 시판되고 있으나 발전소의 수질조건에 적합한 수처리제 및 방식기술이 제시된바 없이 제작사의 권고에 따라 운전되고

[표 3] 증기발생계통 수처리기술 개발실적

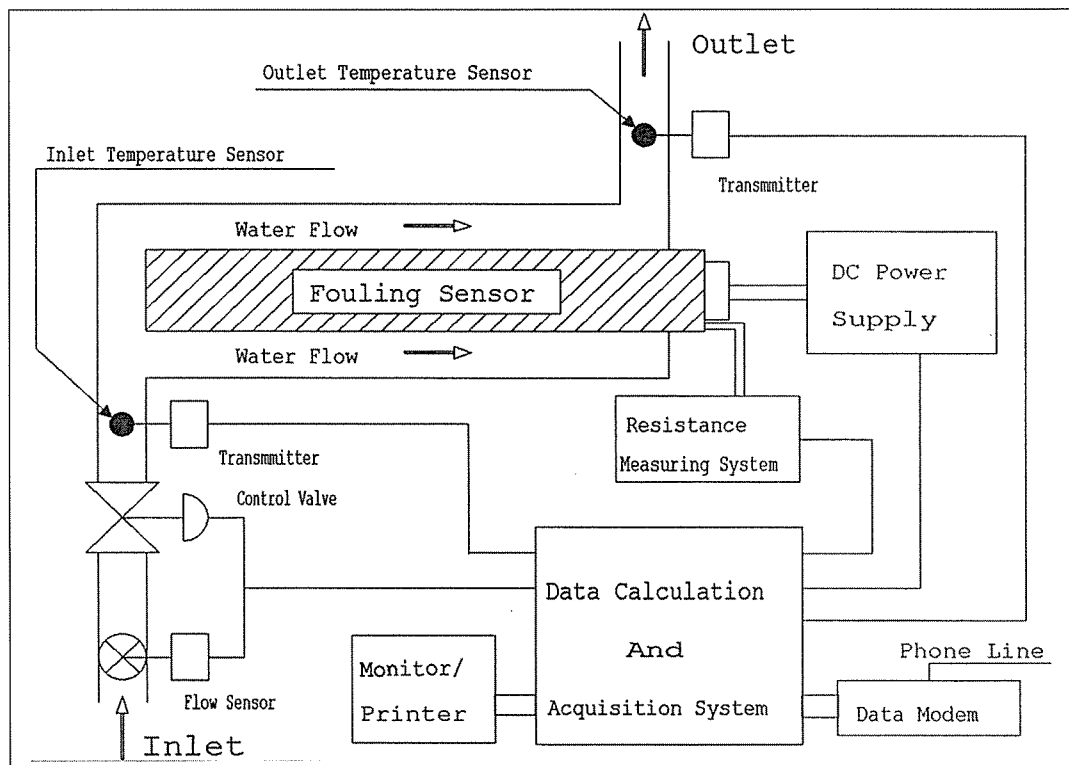
번호	과 제 명	기 간	연구 내용	효 과
1	원자력발전소 2차계통 수질감시 및 진단시스템개발	'91.4~'93.4	- 원전 증기발생계통의 45개 주요수질 감시기술 개발 - 수질 이상시 진단 및 응급 조치방안 제공 - 계통수질분석자료의 DB화	- 연구시작품 고리3호기에 설치, 운영 - 전체원전에 확대 보급완료 (원발처용역사업:'95.4~'97.4)
2	원자력발전소 부식생성물 발생원인 규명 및 저감대책연구	'92.4~'94.3	- 원전 증기발생기 부식생성물 발생원인 및 거동 규명 - 고평H운전에 따른 부식생성물 저감효과 측정	- 계통수 극미량 분석법 정립 - 부식생성물 저감을 위한 고평H 운전방안 제시
3	초임계압보일러 수처리기술 개발	'95.7~'98.6	- 초임계압보일러 수질관리 기준 및 산소주입법 개발 - 수처리방법별 부식생성물 발생기구 및 거동 평가 - 기동 및 정시시 수질관리 절차서 개발	- 500MW급 초임계압보일러 최적수처리법(OT법)개발제시 (태안/삼천포 적용) - 보일러차압감소로 발전설비 안전운전 도모 및 효율향상 - 화학세정주기 연장 및 복수 탈염장치 재생비 절감
4	고리#1호기 에탄올아민(ETA) 적용연구	'97.7~'99.12	- 에탄올아민 수처리개발 - 수처리법 변경적용위한 세 부절차서 개발 - 현장적용 및 경제성평가	- SG내 슬러지 퇴적량 감소에 의한 전열관 부식환경저감 - 슬러지 제거비용절감 - 국내원전 수처리기술 수준 향상
5	고효율 용존산소제거 촉매장치 개발	'98.4~'01.3	- 상온에서 용존산소제거용 촉매장치 개발 - 시험장치제작 및 촉매합성 - 연구시작품 제작 및 현장 설치	- 발전소수질관리기준 준수로 현안문제 해결 - 개발촉매의 국내외특허출원
6	증기터빈 부식원인 규명 및 대책수립	'00.4~'02.4	- 터빈 부착물 특성평가 및 부식예측기술 개발 - 증기순도 향상 수처리기술 개발 - 최적 정지 절차서 개발	- 터빈 deposits 및 부식저감 - 터빈 진동방지 및 효율향상

있었다. 이에 따라 “냉각탑순환수계통 수질관리 최적화 및 plume영향연구”에서 냉각탑의 용수사용량을 크게 절감할 수 있는 고농축도 운전기술의 개발과 이에 적절한 약품프로그램을 개발하고, 배출증기의 확산범위 예측과 영향을 검토하여 제시하였다. 건설당시 운전농축도가 2-5로서 하루 용수사용량이 약9만톤이 소요되도록 설계되었으나 운전농축도를 10으로 크게 상향조정하고, 고농축도 운전에 따른 스케일 발생을 방지하기 위하여 처리약품은 국산화하였다. 국산화한 수처리약품은 수중의 불순물인 스케일의 결합부위에 부착해 성

장을 억제시켜주고 부유물질에 대해 분산력이 우수한 폴리아크릴아마이드계 폴리머와 구리합금의 부식을 방지시켜주는 아줄계 부식억제제를 주제로 합성되었다. 이를 분당복합화력에 실증시험한 결과 열교환기의 효율개선과 스케일 억제효과가 우수한 것으로 확인되었다. 기존 외국산약품 구입비용의 1/3수준으로 낮추었으며, 용수사용량 및 폐수발생량을 1/4수준이하로 크게 저감시켰다. 아울러 배출증기 확산모델(SACTI code)를 이용하여 냉각탑에서 발생하는 배출증기(plume) 및 비산수(draft)의 확산범위, 서리결빙 및 안개발생 등의 환

[표 4] 화학세정 공정개발 연구실적

번호	과 제 명	기 간	연 구 내 용	효 과
1	화학세정 주기결정 근거에 관한 연구	'85.1~'86.1	- 세정주기결정요인분석 - AWT세정주기 재조정 - CWT세정기준 설정	- 화학세정기준 전체 기력 발전소에 확대적용 - AWT & CWT보일러 세정주기 활용중
2	원전 증기발생기 2차 측 화학세정연구	'88.8~'91.8	- 국내원전에 적용할 세정 공정 개발 - 부식시험용 시험장치개발 - 세정전 검증시험절차 개발	- 원전 화학세정공정 국산화 - 증기발생기 보수기술 확보
3	고리2호기 증기발생기 화학세정을 위한 최적 공정 확립연구	'92.4~'93.6	- 증기발생기부식환경개선을 위한 화학세정검증시험 - 슬러지제거를 위한 최적 공정 확립시험 - 재질별 부식 및 화학세정 안전성평가	- 한전 자체기술로 화학세정 실시 - 증기발생기 부식환경개선으로 수명연장에 기여
4	ACR세정약품 국산화 및 공정개발 연구	'89.7~'91.6	- ACR화학세정약품 개발 - ACR화학세정처방시험확립 - 국내보일러 최적공정 제시	- ACR세정기술국산화로 비용 절감 - 남제주화력에 최초적용



[그림 6] 자체 개발한 열교환기 부착물(청결도) 감시장치

[표 5] 발전소 냉각수처리 기술개발 실적

번호	과 제 명	기 간	연 구 내 용	효 과
1	발전소 해수냉각계통 설비의 방오.방식연구	'84.7~'87.2	- 해수생물 부착방지용 도료 성능평가 시험 - 해수전해전극 개발	- 해수전해전극 전량국산화로 외화절감 - 해수냉각설비 유지비 감소 (삼천포 및 영광원전 방오 도료 적용)
2	축수냉각계통 방식제와 수질관리에 관한 연구	'86.1~'87.2	- 현장 냉각수계 금속재질별 부식을 시험 - 각종 부식억제제 성능평가	- 축수냉각수 수질개선 (여과수→순수 사용) - 냉각수처리약품 선정기준 설정하여 활용
3	냉각탑 순환수계통 수질관리 최적화 및 Plume 영향연구	'94.4~'97.3	- 용수사용량 절감을 위한 고농축도운전기술 개발 - 냉각수 처리약품의 범용화 - 배출증기 확산범위예측	- 수질관리 자동화장치 설치 - 고농축도운전으로 용수절감 (설계대비 약2.4만톤/일) - 수처리약품의 범용화/국산화

경영향을 예측, 검토하여 제시하였다. 한편, 냉각계통의 효과적인 수질관리를 위해서 본연구 과정에서 복수기 청결도의 연속감시장치를 개발하여 분당복합화력에서 적용한 결과 외국산보다 감도 및 재현성측면에서 보다 우수한 것으로 입증되어 국내외 특허출원중에 있다. 그림6은 복수기 청결도 감시장치의 내부 구성도를 나타내고 있다. 본발명의 장치는 전열면에 스케일 부착량이 증가함에 따라 전열면 표면온도는 상승하고, 이 표면온도 증가로부터 전열면 청결도를 산출하는 방법을 채택하고 있다. 그러나, 기존의 파울링 센서는 전열면 온도측정 소자가 부분적으로 내장되어 있어 전열면의 평균온도 산출에 감도와 정확도가 부족하였으나, 온도측정소자를 전열면 전체에 감아 스케일부착에 따른 전열면의 온도변화를 보다 민감하게 측정할 수 있도록 고안한 것이 특징이다. 본 기술을 수도권 복합화력발전소에 확대보급중에 있으며, 공사내 전발전소의 냉각계통 수질관리설비로서 적용가능할 것으로 기대된다.

4. 결 론

발전소 수처리기술은 화학을 중심으로 환경, 기계, 전자, 금속관련 기술을 포함한 종합기술이며, 단위 요소기술도 광범위하지만 그중에서 각 발전소 설비와 특성에 알맞는 cycle chemistry를 위주로 한 기술개발이 가장 중요한 과제이다. Cycle chemistry의 주요 연구방향은 가급적 화학약품을 적게 사용하고, 공정을 단순

화시키면서 스케일 발생을 최소화하고 계통설비의 부식발생을 방지할 수 있는 수처리공정의 개발이다. 단순한 획일적 개념의 수처리공정 적용보다는 각발전소 별로 설계, 구성재질 및 수처리 운전이력 등의 특성을 종합평가하여 각 공정별 장점을 종합한 optimized된 specific-procedures를 개발하여 대상발전소 특성에 맞게 적용하는 것이 필요하다. 또한 화학세정은 고온에서 시행 할수 있는 세정제를 개발하여 공사기간을 단축하고, 폐액발생이 최소화할 수 있도록 할 계획이다. 한편, 신규발전소 부지선정의 어려움과 함께 발전용수 부족현상이 심화될 것으로 예상됨에 따라 경제성있는 발전용수 확보 및 고순수 생산기술도 앞으로의 과제이다. 이를 해결하기 위한 용수확보기술은 기개발된 단위기술들을 조합하여 경제성을 높이는 방향으로 연구가 진행될 것으로 예상된다.

향후 발전소 수처리기술은 청정생산기법(clean-up production)을 도입하여 새로운 수처리공정을 개발 적용하므로서 환경보호와 함께 발전설비 수명연장과 원가절감을 동시에 추구할 계획이다. 그예로서 화학약품을 적게 사용하는 공정의 개발과 함께 스케일발생을 미연에 최소화하여 화학세정공사 적용횟수를 줄이고, 환경 무해한 Green inhibitor와 같은 냉각수 수처리제의 개발이 추진될 전망이다. 아울러 국내발전소에 탈황설비가 설치운영중에 있고, 대부분이 습식공정임에 따라 이의 원활한 운영을 위한 수처리 요소기술을 개발할 계획이다.