

4. 결론

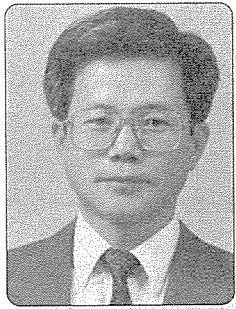
정비 기법의 발달사를 돌아해보면, 새로운 측정 공구의 개발은 새로운 정비기법의 시작을 알리는 예고탄과 같은 역할을 하였다. 지금까지 기계식의 Micrometer, Dial gauge가 0.01mm 단위의 측정 기기로 사용하였다. 이는 미시적 측정에는 우수한 성능을 발휘하였으나, 거

시적 측정용은 물리적 제약으로 많은 한계가 있었다.

특히 불연속 측정지점의 거시적 측정은 Water Level, Straight Edge, Optical Level, Piano선 등을 이용하여 측정하였다. 하지만 레이저 빛을 이용한 Point 측정은 불연속 측정지점에서 탁월한 성능을 발휘하고 경비와 시간을 절약할 수 있다.

복합사이클(Combined-cycle) 발전설비의 고효율운전 사례

A case for high efficiency operation of combined-cycle power plant



서울에너지(주)
부장, 기술사 도유봉
T : (02) 2647 - 3201

일본의 가와사키제철(주) 치바제철소에서는 제철프로세스에서 발생하는 부생가스(高爐GAS 등)를 이용하여 4기의 대형발전소를 가동시키고 있으며, 이 중에서 복합사이클에 의한 발전시스템은 용량과 효율에 있어 가장 우수하다. 그래서 복합사이클발전시스템(149MW)의 고효율운전과 고가동을 유지를 테마로 선정하여 종합적인 발전원단위 향상을 추진하였던 사례이다.

로서 사용된다. 발전소에서 발생한 전력으로 제철소에서 이용하는 전력의 약 95%를 감당하고 있다. 결국 발전소에서의 전환효율을 올리는 것이 에너지 절약상 가장 중요한 과제로 된다.

1. 테마선정 이유

가. 치바제철소의 에너지흐름도

치바제철소의 에너지흐름도(Energy-flow)는 <그림 1>과 같다. 제철소의 95%는 석탄으로, 제철프로세스중에서 일부는 철광석환원에 이용되고, 나머지는 코크스로(爐)가스, 고로가스, 전로가스(총칭하여 부생가스)로서 회수된다. 회수된 부생가스중 약 60%는 각 제철프로세스의 연료로 사용되고, 나머지 40%는 발전소의 연료

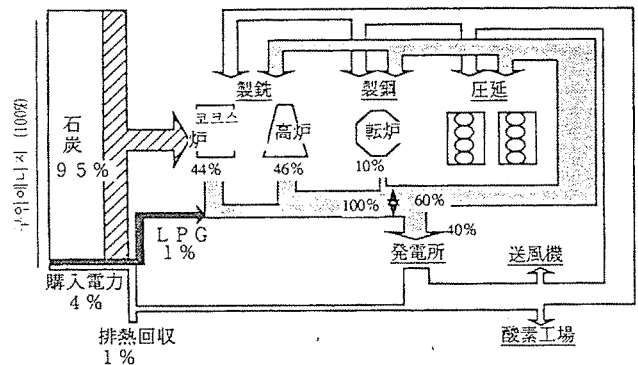


그림 1 치바제철소 에너지흐름도

나. 테마선정 이유

<그림 2>에 복합사이클 발전시스템의 계통도를 나타

내고 있다. 제철소에서 발생한 고로가스, 코크스로가스는 배관을 통하여 복합사이클발전소로 들어오고 혼합기에서 1,000(kcal/Nm³)으로 조정된 후, 가스 압축기로 보내져 가스를 약 15(kg/cm²G)로 압축시킨 뒤 가스터빈의 연소기로 들어가게 된다. 한편 공기는 가스터빈의 공기압축기에서 압축되고, 압축된 가스 및 공기는 연소기내에서 연소하여 약 1,150℃의 연소가스로 되어, 가스터빈을 구동시켜 전력으로서 회수된다. 또한 가스터빈 구동후의 배가스는 배열보일러(HRSG:Heat Recovery Steam Generator)에서 증기발생에 이용되며, 이 증기는 증기터빈을 구동시켜 전력으로서 회수된다. <그림 3>에 발전시스템의 효율비교를 나타내고 있다. 복합사이클 발전시스템은 다른 보일러+증기터빈형의 발전시스템에 비해서 효율이 약 10%(상대치)가 높을뿐만 아니라 출력에 있어서도 전 발전량의 30%를 담당하고 있다. 결국 연료 가스를 복합발전시스템에 이전(Shift)시키면 효율차이에 의하여 동일한 가스량에서도 약 10%의 발전출력을 증가를 가져오며, 에너지절약에 기여할 뿐만 아니라 환경상으로도 CO₂ 등의 삭감을 가져오게 된다. 그래서 발전소 종합효율향상을 위하여 복합발전시스템의 고효율 운전과 고가동을 운전을 테마로 선정하였다.

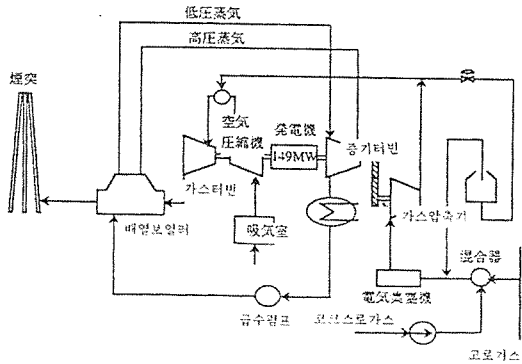


그림 2 복합발전시스템 계통도

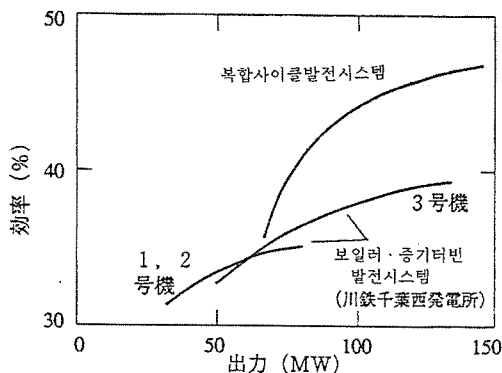


그림 3 치바제철소의 발전효율 비교

2. 현상 파악 및 분석

가. 현상의 파악

복합발전시스템의 운전개시후의 가동율 및 효율추이를 <그림 4>에 나타낸다. 가동율은 약 85%, 발전단효율 46.5%(저위발열량 기준) 정도이다. 정기검사기간이 길고, 제철소내의 부생가스 밸런스에 좌우 되는 등의 이유로 가동율은 통상 보일러-증기터빈에 비해 낮다. 또 효율은 통상 보일러-증기터빈에 비해 상대치로 약 10%가 우수하지만, 터빈날개의 오염에 의한 효율저하 등이 문제점으로 대두되고 있다.

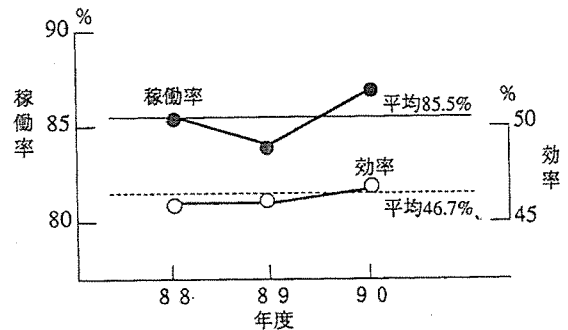


그림 4 복합발전시스템 가동율·효율실적

나. 현상의 분석

<그림 5>에 복합발전시스템의 정지요인을 나타내고 있다. 63%가 정기검사에 의한 정지이고 나머지가 가스 부족이나 보수에 의한 것이다. 그리고 계획적으로 실시할 수 있는 정기점검에 대해서 단축하는 방법을 모색하는 것이 중요하다. <그림 6>에 날개오염에 의한 압축기 효율저하상황을 나타낸다. 공기압축기는 2개월에 약 1%, 가스압축기는 15%의 효율저하를 가져왔다. 그러므로 날개세정을 효과적으로 수행 하는 것이 효율향상에 크게 작용하는 것으로 분석되었다.

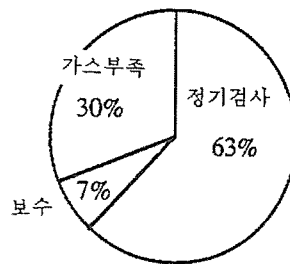


그림 5 복합발전시스템 정지요인

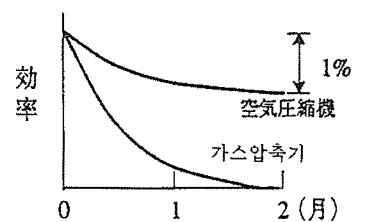


그림 6 효율저하 상황

3. 활동 경과

가. 업무체제

테마지원자 - 에너지기술실 스태프, 동력과장, 주임
 테마추진자 - 작업장(作業長)
 구성 인원 - 반장(리더) 1명, 반원 5명

나. 목표의 설정

연간가동을 5% 향상과 발전효율 1% 상승을 목표로 하였다.

다. 문제점과 그 검토

1) 가동을 향상대책안 검토

① 정기검사 기간

가스터빈은 법률에 의하여 1년에 1번 개방검사(開放 檢査)를 정부의 검사관이 입회하여 받도록 되어있다.(단, 운전관리를 확실히 하고 있다던가, 무사고 등 일정기준을 만족하면 법정검사는 2년에 1번으로 연장가능)

정기검사기간은 보일러-증기터빈형이 25일, 복합사이클발전은 30일까지 소요되는것으로 나타났다. <표 1>에 복합사이클발전과 보일러-증기터빈발전(西發3호기)의 정기검사기간을 비교한 결과, 개방·조립·검사·오일세척에 시간이 소요되는것으로 판명되었다.

<표 1> 정기검사기간 비교

항 목	복합사이클 발전시스템	西發 3호기	기간을 요하는 이유
정지~냉각	3일	3일	
개방	5	4	부품수가 많고 메인테넌스 장소가 협소
청소·검사	6	4	날개를 전부 취외하여 정밀 검사를 실시
입회검사	1	1	사내검사 포함
조립	8	6	부품수가 많고 메인테넌스 장소가 협소
오일세척	4	3	윤활유계통이 복잡하고 유량도 많음
테스트	2	2	
난기~기동	1	1	
계	30일	25일	

② 정기검사기간 단축대책

<표 2>와같이 정기검사기간 단축대책을 심층 분석하여, 실시안을 결정하였다.

<표 2> 정기점검단축대책안

대책안 및 내용	효과	실현성
(1) 특수치공구의 개발 - 케이싱 결이, 심출(芯出)치공구 등을 개발하여 작업효율을 향상시킨다	2일단축	○
(2) 오일세척의 개선 - 바이패스관을 설치하여 조립중에도 오일세척을 실시 - 메쉬(Mesh)가 촘촘한 망으로 하여 처음부터 작은 오물까지 포집(捕集)	1일단축	○
(3) 서(西)발전소의 메인테넌스 야드 이용 - 개방한 대형점검 부품을 서발전소의 메인테넌스 야드로 이송하여 청소검사 실시	1일단축	○
(4) 예비품으로 교환하여 검사를 생략 - 연소기, 가동·고정날개의 예비품 구입 - 정기점검시 예비품으로 전부 교환하여 검사를 생략한다	5일단축	× (코스트大)
(5) 메인테넌스 야드 확장 - 크레인을 증설하여 작업성을 개선한다.	1일단축	△
(6) 크레인 증설 - 터빈 바닥(Floor)을 확장하여 메인테넌스성을 향상 시킨다.	1일단축	△
(7) 검사내용의 간소화 - 형광침투탐상으로부터 액체침투 탐상으로 변경	1일단축	△

→ (1)에서 (3)까지의 대책을 실시하기로 하였다. 이것에 의하여 정기점검기간을 약 4일 단축하는 것이 가능하였다.

2) 날개세정(洗淨)에 의한 효율향상 대책

① 날개세정방법의 선택

압축기의 고정날개와 가동날개 표면에 부착한 오염물질을 세정하는 방법에는 크게 나누어 건식과 습식의 2종류가 있다. 그래서 <표 3>과 같이 2종류의 세정방법의 득실에 대해서 조사하였다.

② 공기압축기 날개세정의 최적화

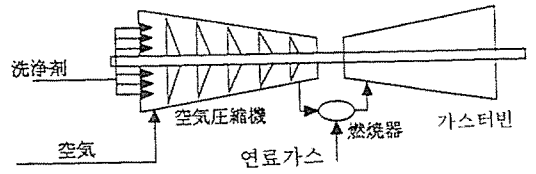
공기압축기의 날개세정 방법으로서 알카리계 세정제를 이용하여 실험을 행하였다. 그러나 이 세정효과는

- 세정전의 날개냉각을 포함하면 1/2일정도 플랜트 정지가 필요
- 세정후 온수로서 재세정이 필요등의 이유로부터 빈도를 늘리는것이 곤란한 것으로 판명되었다. 그래서 운전중에도 세정가능한 에-텔계 세정제에 대해서 시험해 보기로 하였다. 이때 문제가 되는것

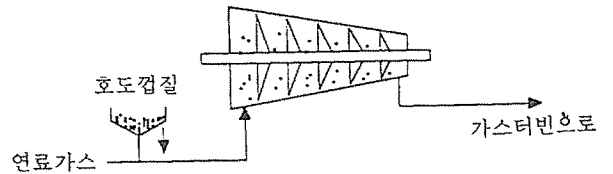
<표 3> 세정방법 비교

방식	세정제	특실	적부	
			공기 압축기	가수 압축기
습식	알카리계	- 세정제를 날개에 뿌려 오염물질 제거 - 세정력은 높다 - 세정액 분무후 온수세정 요함 - 플랜트 정지가 필요	○	×
	에테르계	- 세정제를 날개에 뿌려 오염물질 제거 - 운전중 세정가능 - 대형, 플랜트에서는 실적이 없음 - 투입량이 많으면 실화의 위험이 있음	○	×
건식	호도껍질	- 세정제를 날개에 두들겨서 오염물질 제거 - 경도가 높은 부착물에 유효 - 운전중 세정가능 - 껍질양이 많으면 냉각구멍에 막혀 날개 용적 손실이 우려	×	○

<공기압축기> 습식세정 채용



<가스압축기> 건식세정 채용



은 연료가스의 칼로리가 낮기(1,000kcal/Nm³) 때문에 실화(失火)의 위험이 있다. <그림 7>은 세정제 투입 농도와 효과, 실화 위험영역의 관계를 나타낸 것이다. 이 결과 세정제 투입량을 많게하면 할수록 세정효과가 높아지거나 너무 높아지게 되면 실화의 위험성이 있으므로, 연소안정 영역을 고려하면 최대투입량은 9cc/Nm³(투입공기량당)가 적정한 것으로 분석되었으며, 이때의 효율복귀량은 2%이다. <그림 8>은 세정제의 종류를 변경하여 시험한 결과로서 젯트엔진용의 세정제쪽이 효과가 크다. 이러한 결과를 토대로하여 대형 복합발전시스템에서는 처음으로 운전중에 날개세정실시를 실현하였다.

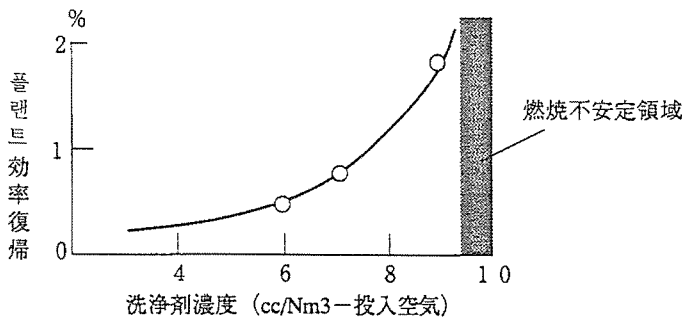


그림 7 투입공기중 세정농도와 효과 및 연소불안정

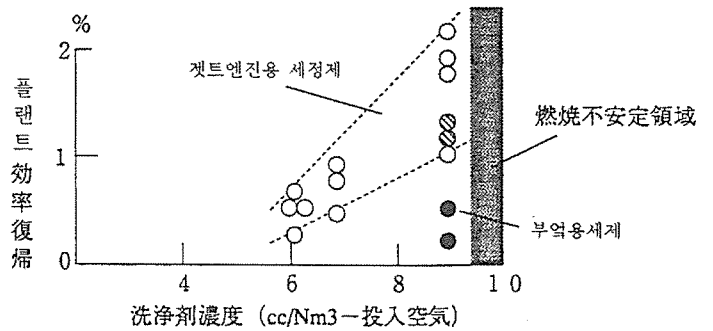


그림 8 세정제 종류와 효과

③ 가스압축기 날개세정의 최적화

가스압축기는 건식 날개세정을 행하는 것으로 하고 있었지만, 가스흡입구에 호도껍질을 투입하는 단순한 방법이기 때문에 양적제어가 곤란하여 최적방법이 아니었다. 그래서 투입구에 오리피스를 설치하여 투입량을 제어하면서 그 효과를 파악하여 보기로 하였다. <그림 9>는 호도껍질의 투입농도와 플랜트효율 복귀량의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 투입농도와 플랜트효율 복귀량의 사이에는 최적점이 있는것으로 판명되었다. 이것은 투입농도가 높으면 호도껍질이 서로 간섭하여 날개에 충돌하지 않고, 반대로 투입농도가 너무 낮으면 껍질이 충분히 확산하지 않는 것으로 추정되었다.

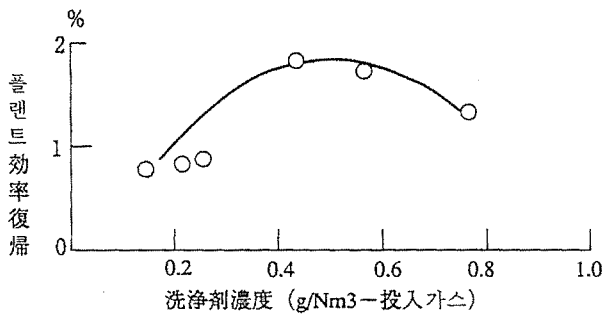


그림 9 투입가스중 세정제농도와 효과

4. 대책 내용

이상과 같이 검토해 온 대책을 종합해서 정리하면 다음과 같다.

문 제 점

- (1) 가동율을 올리기 위하여 정기검사시간을 단축
- (2) 효율을 올리기 위하여 날개 세정방법을 개발



대 책

- (1) - 특수치공구의 개발
 - 오일세척의 개선
 - 서(西)발전소의 메인テナンス 부지 이용
- (2) - 공기입축기의 세정제로 에테르계의 것을 채용하여 운전중의 세정기술을 개발
 - 가스입축기의 세정제로 호도껍질을 채용
 - 세정제의 투입속도를 제어하여 세정효율의 최적화를 실시

5. 대책후의 효과

1992년 1월에 대책을 실시하였으며, 그 효과는 <그림 10>과 같다. 이에따라 가동률 4.9% 향상, 발전효율 1.3%

향상하므로써 에너지절약효과를 가져왔으며, 이것을 금액으로 평가하면 259백만엔/년의 에너지비용 삭감을 가져왔다.

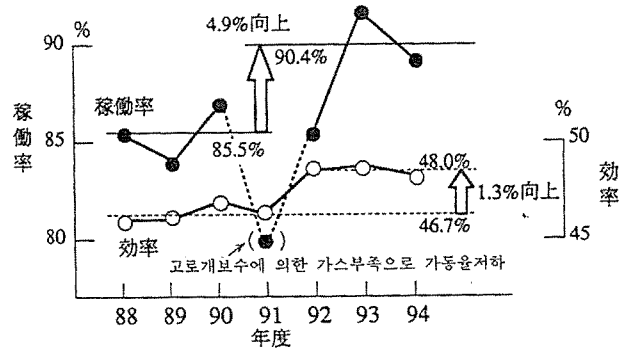


그림 10 복합발전사이클 가동율·효율실적

6. 결론

복합사이클 발전시스템의 고가동율, 고효율운전을 테마로 활동하여 목표달성을 향한 시험·분석 등을 반복하므로써 커다란 성과가 얻을수 있게되어 이번 과업을 추진했던 팀원들에게 큰 만족감을 안겨주었다.

7. 금후 계획

이번의 활동으로 복합사이클 발전시스템의 고가동율, 고효율운전의 운영을 궤도에 올려놓을수가 있었으며, 앞으로도 더욱 가동율의 향상, 효율향상을 통하여 에너지절약 개선활동을 전개해 나갈것이다.