

10. 결론 및 의견

장기간 사용 및 빈번한 기동·정지에 따른 보일러 열응력부 노후화 및 신설 탈황설비 운전으로 Gas Leak처가 증가추세에 있어 보일러를 정밀 진단하여 그 원인을 파악하고 2003년 수명연장 공사 기간 중 설비개선과 정비를 실시하여 설비의 신뢰성 향상과 연소가스 누설로 인한 부대설비의 열화를 방지하고 쾌적한 환경을 제공 하는데 크게 기여하였음.

Hopper의 근본적인 문제점 파악하기 위하여 Casing 철거시 2차 정밀점검을 실시하였다. Front&Side Header간 열 팽창량 및 그 팽창 방향이 서로 상이하여(Header간 440~425mm)Casing이 변형, 균열, 손상되었으며 당초 설계 및 시공상의 문제점까지 완벽하게 파악 및 개조하여 Header Seal Ring 설치 등 설비 성능을 획기적으로 향상 시키고 또한 연소가스 누설

을 차단 시켰음.

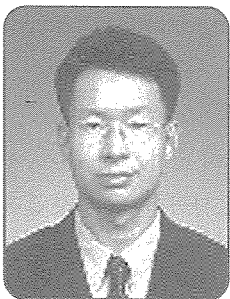
Furnace Opening (AD, SB, ID 등), Casing, Duct 등의 취약부 설비개선, 교체, 보강을 실시하여 열응력 경감과 연소가스 누설을 예방하였음.

기타 시설 Breather 성능저하에 의한 불충분한 Expansion과 장기간 사용에 의한 Seal부 부식 및 기능이 상실되었고 DSS, WSS 등 잦은 기동정지에 의한 열악한 환경 조건에서도 능동적으로 대응할 수 있도록 강도향상과 응력 집중부 저감구조로 설비를 개선 시공하였음.

장기간 사용에 의한 설비의 노후화로 Duct, Casing 등의 Expansion, Breather, Frame 등 단위 기기의 설비 개선 및 제작 교체를 실시하였음.

금회 DSS&WSS에 대응되는 구조로 설비 성능 및 구조개선 부분에 대해서는 전반적으로 비파괴 검사(PT&MT)를 실시하여 시공 품질을 향상 시켰음.

열병합 복합화력 온라인 성능감시 기술



한전 전력연구원
발전연구실 발전성능그룹
선임연구원 주용진
Tel : (042)865-5324

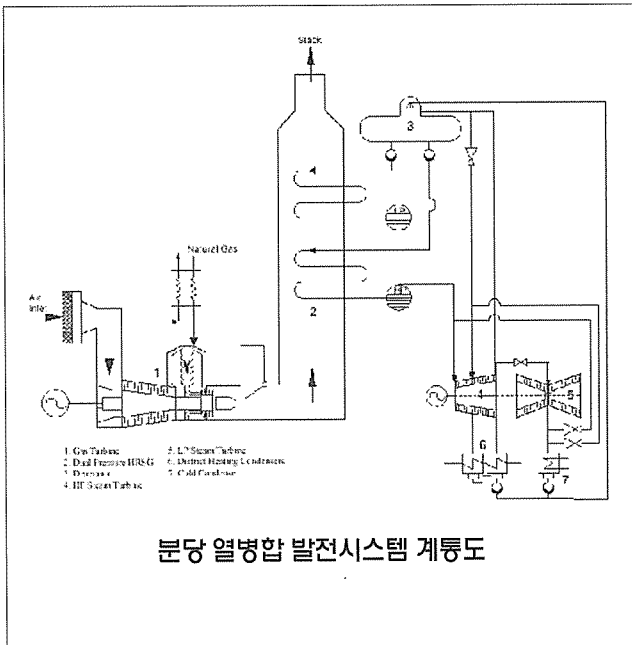
국내 전력시장이 민간 복합발전 사업자와 더불어 발전회사간의 자유경쟁에 의한 전력거래 체제로 변화됨에 따라 경쟁력 확보를 위한 핵심요소인 발전원가 절감이 최우선 목표로 대두되고 있다. 이에 발전원가

의 구성요소인 연료비, 유지보수비 등의 최소 유지가 요구되므로 발전설비의 최적 운전성능 유지를 위한 노력이 활발히 진행되고 있다.

특히 열병합 복합화력 발전소는 전력과 더불어 지역난방용 열원을 생산하는데 있어 매우 다양한 운전 패턴을 가지므로 현재의 운전상태를 감시하여 최적으로 운영하는데 상당한 어려움을 겪어왔다. 전력연구원 발전연구실 발전성능그룹은 실시간으로 운전데이터를 취득하여 발전소의 운전성능평가와 함께 설비의 이상유무 상태를 온라인으로 상시 감시할 수 있는 기술 개발을 2002년 10월 착수하여, 적용대상 발전소인 분당 열병합 복합화력에 2004년 10월에 설치하였다. 현재 안정적으로 운전되고 있으며 다양한 분야에서

활용될 수 있도록 현장 요청사항을 반영하고 있다.

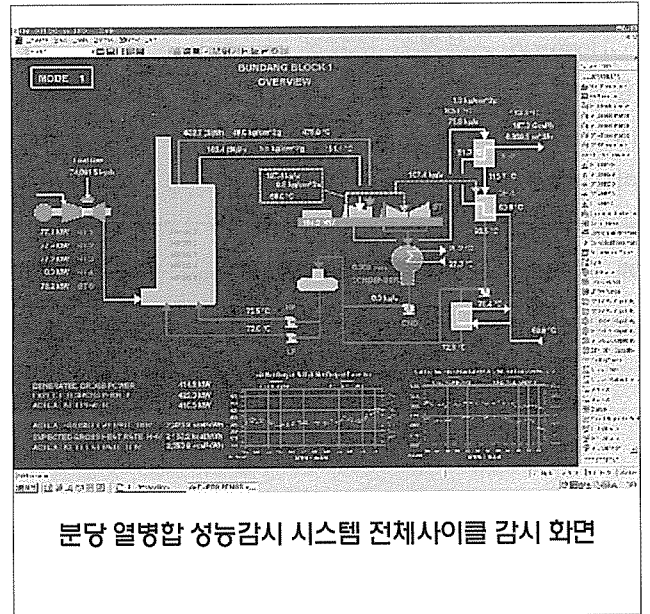
이에 본고에서는 열병합 복합화력 실시간 성능감시 기술의 개발내용을 소개하고자 한다.



<온라인 성능감시 기술>

온라인 성능감시의 목적은 발전소 운전성능 및 기기성능이 기대하는 것처럼 운전되고 있는지 지속적으로 평가하는 것이라 할 수 있다. 실시간, 온라인으로 방대한 성능변수를 체계적으로 관리하기 위하여 실시간데이터베이스 시스템을 사용하여 발전소 운전 및 성능데이터를 저장하고 추적할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, 발전소 실제 성능계산에 필수적인 유효한 성능변수치를 계산하기 위해 실제 발전소의 각 기기 및 전체 발전시스템에 대한 질량 및 에너지 밸런스 식을 구성하고, 실측 데이터를 근간으로 밸런스 식을 만족하는 유효치를 계산한다. 이 유효치를 성능계산 수행에 사용함으로써 보다 정확한 운전변수 및 성능분석치를 획득함과 동시에 계측기의 오류를 판별한다. 발전소의 실제성능 및 기대성능을 계산하기 위하여 제작사가 제공하는 보정곡선, 개발된 상관식 및 성능해석 툴을 이용하여 성능계산 모델을 구성하며, 개발된 모델을 이용하여 발전소 현 운전조건에서의 정확한 실제성능, 기대성능, 보정성능을 계산함으로써 기기의 성능열화 및 전체 발전소의 성능열화를 즉시 파악할 수 있다.

이러한 성능감시 시스템은 담당자들로 하여금 성능관련 문제에 대해 즉각적인 조치를 취할 수 있도록 방향을 제시함으로써 최적의 발전소 운전성능을 유지할 수 있으므로 최적 성능관리 및 발전소 이용률 제고에 기여할 수 있다. 또한, 이와 같은 성능계산 결과와 기기의 성능열화 및 부하조건 등을 모두 고려하여 발전소 수익을 제고할 수 있는 운전모드 및 운전변수 설정치를 제공한다.

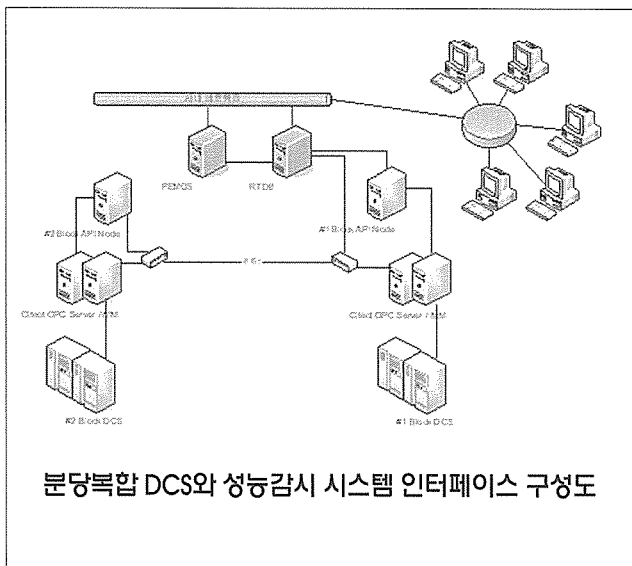


<성능감시 하드웨어 구성>

시스템 하드웨어 구성은 분산제어시스템(DCS)과 OPC(OLE for Process Control) 서버가 연결되어 있으며, PI API(Application Programming Interface) 노드는 이더넷(ethernet)을 이용하여 OPC 서버에서 데이터를 수집한다. 여기서 1블록과 2블록의 PI API는 서로 다른 건물에 위치하므로 이 거리를 극복하기 위해서 광케이블을 이용하여 독립적인 네트워크를 구성하였다. 기존의 사내 전산망을 이용하여 네트워크를 구성하는 경우, 각 블록의 OPC 서버 간의 고용량 데이터 전송이 수행되고 있기 때문에 사내 네트워크의 부하가 많을 경우 OPC 서버 간의 데이터 전송의 지연 및 손실이 발생할 수 있고, 또 사내 네트워크가 직접 분산제어시스템과 접촉함에 따른 장애(바이러스 혹은 해킹) 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

PI API 노드는 OPC서버와 실시간데이터베이스

(RTDB) 서버를 서로 연결하며 RTDB 서버는 PI API 노드에서 오는 데이터를 저장하여 사내 네트워크와 성능감시(PEMOS) 서버에 전달한다. 여기서 RTDB 서버를 중심으로 연결되어 있는 사내 네트워크와 사설 네트워크는 서로를 감지할 수 없으므로 서로 영향을 끼칠 수가 없다. 즉, 바이러스 혹은 해킹의 피해가 직접 PI API 노드 쪽으로 향하지 않도록 되어 있다. 사내 네트워크에는 RTDB 서버와 PEMOS 서버만이 연결되어 있으며, 사용자는 원하는 데이터의 종류와 응용 프로그램에 따라 자유롭게 RTDB 서버와 PEMOS 서버를 연결하여 데이터 분석이 가능하도록 구축하였다.

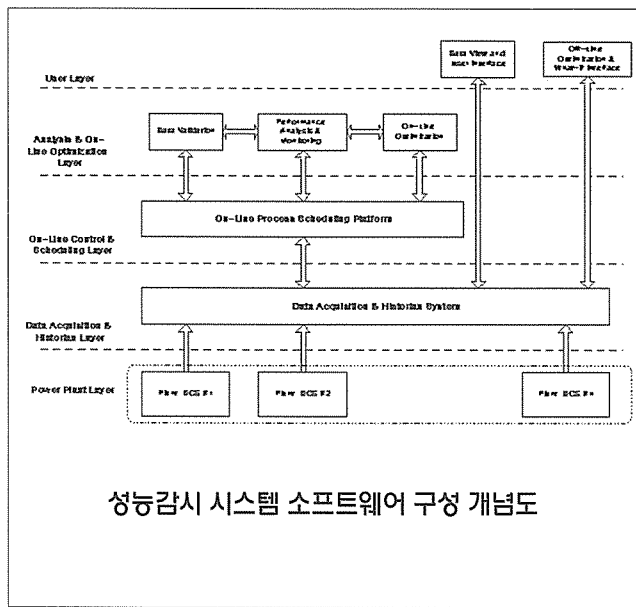


〈성능감시 소프트웨어 구성〉

온라인 성능감시 시스템은 데이터 취득/저장 모듈, 성능관리 모듈, 성능진단 모듈, 성능전문가 모듈, 경제적 최적화 모듈로 구성되어 있다. 데이터 취득/저장 모듈은 발전소 분산제어시스템(DCS)으로부터 운전데이터의 취득과 선별과정을 거쳐 성능분석 및 진단모듈에 데이터를 공급하고 저장한다. 성능관리 모듈은 발전소 종합성능에 큰 영향을 미치는 운전원 제어가능 변수를 집중관리하고 각 설비별 주요 운전성능 변수에 대한 성능지표를 관리하게 된다.

성능진단 모듈은 전체 발전소와 각 설비의 운전 성능저하 및 문제에 대한 원인을 파악하고 이에 대한 해결책을 제시한다. 성능전문가 모듈은 가스터빈, 배열회수보일러, 증기터빈, 복수기 등 주기에 대한 집

중 성능관리와 최적 운전지침을 제공하고 운전 조건 변경에 따른 발전소 성능영향에 대한 민감도를 분석과 성능향상 시나리오 분석 수단을 제공한다. 경제적 최적화 모듈은 발전소 종합수익을 극대화하기 위해 전력판매단가, 열원판매단가, 연료단가, 및 기타 제한 조건하에서 발전소의 최적 경제적 운전패턴을 제시한다.



〈현장 활용사례〉

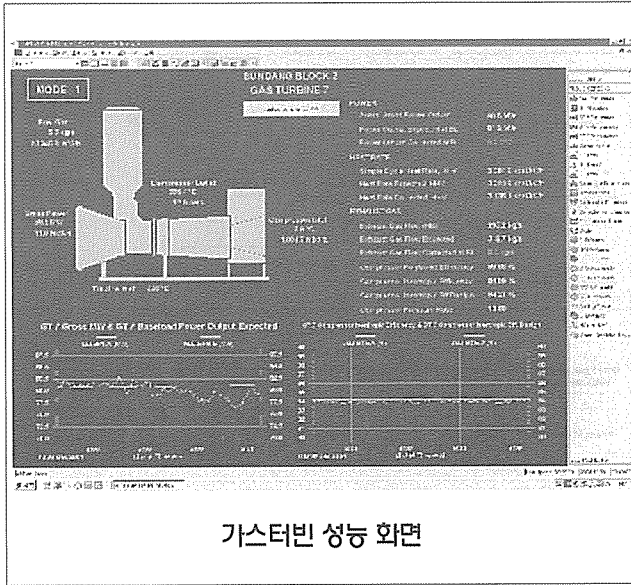
분당 열병합 복합화력에 설치된 온라인 성능감시 및 최적운전 시스템은 현재까지 설치된 유사시스템에 비해 방대한 기능을 제공하므로 현장의 활용목적에 따라 시스템의 유용성은 매우 클 것으로 예상된다. 성능감시 시스템에서 제공하는 기본적인 기능(실시간 운전/성능정보 열람 기능 등)을 이용하여 분당 열병합에서 활용되고 있는 대표적인 사례를 소개하면 다음과 같다.

1. 구성기기 실시간 성능계산

열병합 발전소를 구성하는 주요기기(가스터빈, 증기터빈, 폐열회수보일러, 복수기, 냉각탑, 각종 펌프류)에 대하여 실시간으로 성능을 계산하고 쉽게 분석할 수 있도록 화면을 제공하였다.

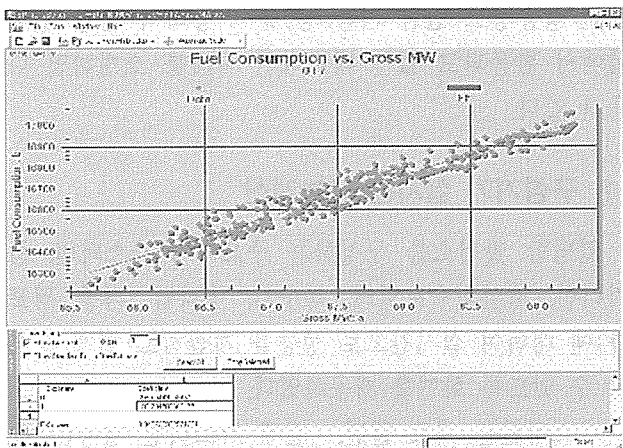
가스터빈을 예로 들면, 실제 가스터빈 성능(출력, 열소비율, NG 연료유량, 배기가스유량, 터빈효율, 압축기 효율 등)을 계산하고 현재 대기조건(대기온도,

압력, 습도) 및 운전조건(부하조건, NOx 분사 등)에서의 기대성과 비교를 수행한다. 그림에서와 같이 현재 조건에서 기대성과 더불어 Base Load로 운전 시 표준기준조건에서의 보정성능도 계산하며, 가스터빈 열정산에 의한 압축기 효율 및 가스터빈 배기가스 유량을 계산한다.



또한 X-Y 차트 기능을 이용하여 가스터빈 출력(MW)에 대한 연료 소비량(kg/h)과의 상관관계를 그림과 같이 도시하였다.

여기서 최소자승법을 이용해서 계산되는 기울기는 단위 출력을 상승시키는데 소요되는 가스량을 의미하며 이는 가스터빈 효율을 분석하는데 도움을 주었다.



X-Y 차트(가스터빈 출력 대 연료소비량)

2. 지속적인 성능 열화도 실시간 감시

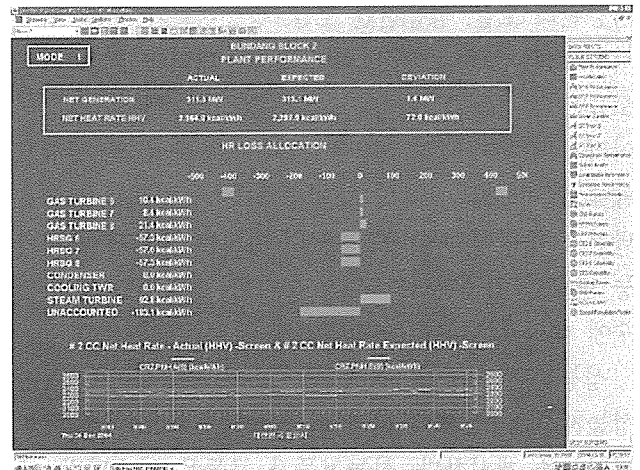
전체 발전소를 구성하는 주요 구성기기의 비효율적인 요소에 의해 추가적으로 발생하는 운전비용의 증가, 즉 연료비의 증가는 발전소 운전성능의 판단지표로 사용되는 열소비율을 통해 확인할 수 있다.

열소비율은 단위 전력을 생산하기 위해 투입되는 연료에너지의 비로서 효율의 반대개념을 갖는다. 주어진 운전조건에서 모든 구성기기가 최적의 성능에서 운전될 경우 열소비율은 최소가 되며 그때의 열소비율을 기대 열소비율(expected heat rate)이라 할 수 있다.

그러나 모든 기기가 항상 최적의 성능으로 운전될 수 없으며 비효율적 운전요소 및 성능열화에 의해 동일 출력을 생산하기 위해서는 추가적인 연료의 투입이 요구된다. 이와 같이 현재의 운전상태 및 기기상태가 반영된 열소비율을 실제열소비율(actual heat rate)이라 정의할 수 있다.

실제값(ACT)은 발전소에서 실측된 운전데이터를 이용하여 구한 성능치를 의미하며, 기대값(EXP)은 발전플랜트 전용 시뮬레이션 코드인 Virtual Plant™ (7)를 사용하여 각종 설계치 및 기기의 보정곡선을 기반으로 구성된 모델에서 현재 운전조건(부하, 대기 온도, 대기압, 상대습도 등)을 기준으로 계산된 값을 의미한다.

열소비율 분담기법이란 전체 발전소에 대한 실제 열소비율과 기대열소비율의 편차를 구하고 이를 다시 단위 구성기기별로 할당함으로써 어느 기기가 현재



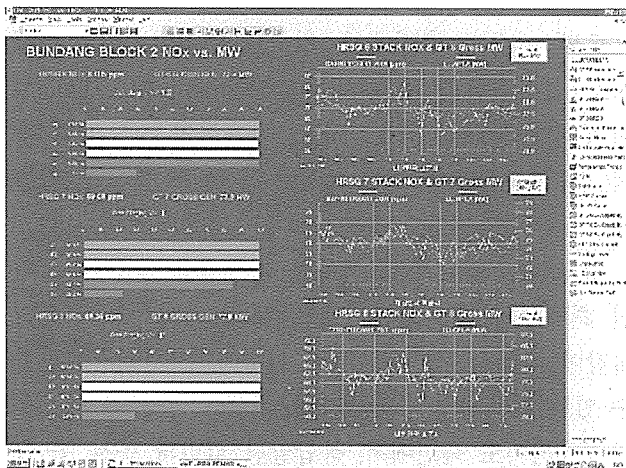
열소비율 손실분담기법을 적용한 주요기기 성능분석 화면

비효율적으로 운전되는지 규명하고 열소비를 편차가 큰 기기에 대해 보다 정밀한 검사를 통해 비효율적인 요소를 제거하여 최적의 성능으로 발전소를 운영할 수 있도록 하였다.

3. NOx 배출량 감시

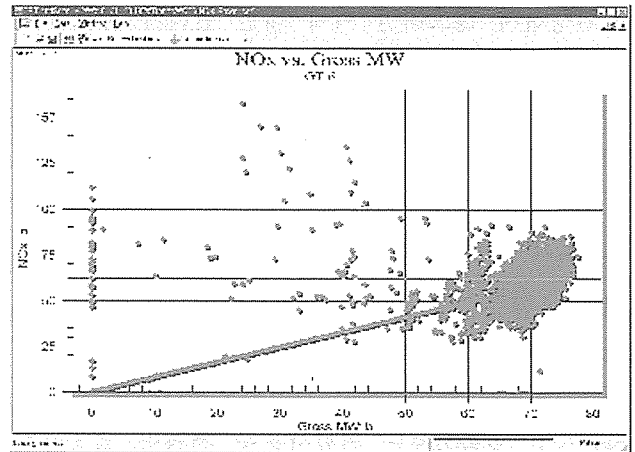
2005년 기준, 분당복합의 경우 질소산화물(NOx) 배출허용기준은 경기도 성남시 조례에 의거하여 1, 3, 5 호기는 100 ppm, 나머지 호기는 150 ppm이며, 향후 순차적으로 강화해 나아갈 예정이다.

이에 분당복합은 NOx 배출량을 저감하기 위한 대책으로 연소진동을 감소시켜 연소를 안정화시키는 연소튜닝기술을 개발하고 있다. 연소튜닝을 위해 조절 가능한 파라미터는 연료밸브(Staging Valve)의 스케줄을 조절하는 것이므로, 연료밸브의 개도와 더불어 출력-NOx 발생량의 상관 그래프를 보이는 등 성능감시 시스템을 활용하여 연소 최적화를 성취하는데 기여하였다.



실시간으로 NOx 배출량과 관련한 운전변수 정보를 제공하는 화면

또한, 특정시간동안 출력변화에 따른 NOx 발생량을 X-Y 차트 형식으로 아래 그림과 같이 보임으로써 어느 부하조건에서 NOx 발생량이 허용규제치를 초과하는지를 관찰할 수 있도록 하였다. 여기서 특정시간 설정기능은 실시간데이터베이스에 저장된 과거값을 사용자가 설정한 시간에 대하여 데이터를 호출함으로써 구현된다.

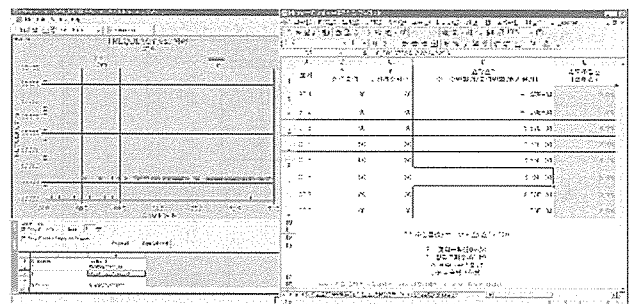


X-Y 차트 (출력변화에 따른 NOx 배출량)

4. 속도조정을 계산

한국전력거래소가 발행한「전력시장 운영규칙(’04.12.1)」에 의하면 “원자력을 제외한 모든 수화력 발전기는 법에서 정한 주파수 유지범위를 유지하기 위하여 계통주파수 및 급전지시에 따라 발전사업자가 신고한 속도조정을 내에서 주파수추종운전(Governor Free)을 하여야 하며, 또한 신고한 속도조정내에서 주파수추종운전 능력이 가능하도록 설비가 유지관리되어야 한다.”고 규정하며 또한, “주파수 추종운전에 대한 정산은 분기별로 발전사업자가 신고한 발전기별 속도조정을 만족하는 경우에만 적용하며, 속도조정을 신고값 대역의 기준치의 10%를 초과하는 경우에는 거래일 예정 정산금을 지불하지 아니한다”고 명기되어 있다.

분당복합의 경우, 속도조정을 5%이하로 주파수 추종운전을 수행할 것을 신고한 바, 전력거래시 손해



X-Y 차트(출력변화에 따른 주파수변화)와 속도조정을 계산하기 위한 엑셀시트

가 발생하지 않으려면 이에 대한 관리가 중요하다. 이에 성능감시 시스템을 이용해서 정확하고 신속하게 속도조정율을 계산하는 기능을 부여하여 최적활용에 기여하였다.

5. 보고서 자동생성

분당복합은 발전소의 발전운영실적과 관련하여 일일보고서, 월간보고서, 연간보고서 등의 수많은 보고서를 수작업으로 작성하고 관리하고 있다. 이 보고서들의 주요 항목으로는 연료사용량, 전력량, 열공급량과 같이 단순 적산값들이며, 이와 더불어 가스터빈 기동횟수, 가스터빈 정지시간, 가스터빈 운전시간, 발전시간, 등가운전시간과 같이 로직을 수반하는 계산 적산값들이다.

성능감시 시스템에는 이러한 단순 반복적인 업무를 보다 용이하고 신속하고 정확하게 산출하고, 궁극적으로 이들 값으로 구성되는 보고서를 자동으로 생성하는 기능을 제공한다. 이를 구현하는 기본방법으로는 데이터 저장소에 저장되어 있는 과거 이력데이터를 호출하고 마이크로 소프트사의 엑셀을 이용하여 이들을 단순 적산하기도 하며, 동시에 매크로를 이용해서 계산 적산값을 산출한다.

가) 단순 적산값

발전소 DCS에서 제공되는 아래 항목은 순시치만을 제공하며 운영실적을 관리하기 위해서는 이들의 적산값을 필요로 하므로, 성능감시시스템의 데이터베이스를 이용하여 엑셀시트에 적산값을 산출한다.

- 전력량(MWh)
- 연료사용량(kg)
- 열공급량(Gcal)

나. 계산 적산값

아래와 같이 로직을 수반하는 적산값을 계산하기 위해서 성능감시시스템의 데이터베이스를 이용하여 관련 값들을 보고서 형태로 생성한다.

- 가스터빈 기동횟수
- 가스터빈 정지시간
- 가스터빈/증기터빈 운전시간
- 가스터빈/증기터빈 발전시간
- 등가운전시간(Equivalent Operating Hours)

<개발효과 및 전망>

열병합 복합화력 온라인 성능감시 기술을 적용함으로써 기술적 측면에서, 정확도 2%이내의 성능감시로 설비결함을 조기에 발견하여 조치함으로써 설비의 성능열화를 최소화하고, 지속적인 성능열화 추적 및 신속대응에 의한 설비운전 효율 향상이 가능하다.

경제적 측면에서, 최적운전 시스템을 활용한 설비별 최적부하분담 운전으로 연간 0.5%이상의 연료비 절감이 예상되는데 이는 1년 이내에 투자비를 회수할 수 있는 정도의 상당한 효과이다.

경영기여도 측면에서, 복합발전 설비의 운전 중 실시간 발전소 종합 성능관리 및 단위설비 운전성능 감시를 통한 정비주기의 장주기화 및 정기보수를 위한 발전소 정지기간의 단축으로 이용율 향상 및 운전 신뢰성 확보가 가능하다. 금번 열병합 복합화력 온라인 성능감시 기술의 성공적 개발을 통하여 축적된 핵심 기술을 기반으로 국내 열병합 발전소의 적용사업이 한창 진행 중에 있으며, 더 나아가 동아시아나 아프리카 지역 등으로의 해외사업 또는 기술이전을 준비하고 있다.

적산값 자동계산 화면