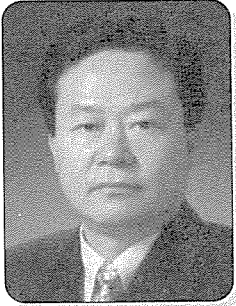


발전소 에너지관리



에너지관리공단 기반사업처장
기술사 김 아연
Tel : (031)2604-440

발전소는 에너지사용량이 아주 많은 사업장으로서 매출원가 중에서 에너지비 비중이 절대적으로 높아서 대체적으로 에너지관리기술 및 인력수준이 국내의 다른 에너지다소비업종에 비하여 가장 높은 수준이다. 반면 장기간 동일 설비를 연속가동 하는데 따른 타성과 집중력이 저하되어 일부 발전소의 경우 부분적으로 무시할 수 없는 손실이 있는 경우도 있어서 발전소 에너지관리자의 관심 여하에 따라 기대이상의 에너지절약 성과를 거둘 수 있는 경우도 적지 않다.

본고에서는 에너지관리공단에서 한전의 위탁으로 지난 2000년 8월부터 2001년 12월까지 실시한 전국 192개 전기다소비사업장 전기수요관리 진단사업에 포함된 국내 26개 상용발전소의 진단결과와 공단의 요청으로 KOPEC에서 수행한 '발전소에너지관리진단지침서' 작성 연구결과 중 발전소에너지관리의 핵심사항을 요약 정리하였다.

1. 발전설비 종류 및 운전특성

발전설비는 용도에 따라 발전전용설비와 열병합발전설비로 구분된다. 또한 발전전용설비는 기저부하용, 중간부하용, 첨두부하용으로 구분되고 열병합발전설비는 집단에너지용과 자가발전용으로 구분하고 있다. 그리고 발전형식은 주로 발전용 연료의 종류에 따라 원자력, 석탄화력, 중유화력, 가스복합화력, 내연발전

으로 구분하며 발전소운전모드는 최대연속운전, 주말기동정지운전, 일일기동정지운전, 동절기연속운전, 하절기순시정지운전으로 구분한다. 발전용도, 발전형식, 운전모드를 결정하는 가장 큰 요인은 발전원가이며 발전원가란 단위전력량을 생산하는데 투입되는 비용(원/kwh)으로서 열효율이 높을수록, 단위설비용량이 클수록, 연료비가 쌀수록 발전원가가 낮아지므로 일반적으로 기저부하용 발전설비의 발전단가가 가장 낮고 첨두부하용 발전설비의 발전단가가 가장 높다. 발전원가가 가장 낮은 원자력이나 석탄 화력은 주로 기저부하용으로 최대연속부하운전을 실시하는 경우가 대부분이며, 발전원가가 높은 가스복합화력이나 내연발전은 주로 첨두부하를 담당하여 상시기동·정지운전을 하는 경우가 일반적이다.

가. 증기터빈발전 : 원자력, 석탄화력, 중유화력 발전소에서 적용하고 있다. 설비수명이 길고 사용연료가 매우 다양하며 발전단 효율은 100만kw급 경수로 원자력이 37.2%, 70만kw급 중수로원자력이 34.6%, 50만kw급 석탄·중유화력이 41% 수준이며 증기터빈 발전방식은 복수기 가동을 위해 다량의 냉각수를 필요로 한다. 소내전력소비율은 경수로 4.5%, 중수로 5.5%, 석탄화력 6.5%, 중유화력 4.5%정도이고(탈황설비제외) 증기터빈발전소는 발전소건설단가는 높으나 발전단가가 낮아서 기저부하 또는 중간부하용으로 많이 사용된다.

나. 내연발전 : 내연발전은 주로 항공기용 가스터빈이나 선박용 디젤엔진을 육상용으로 개량한 것으로서 부하추종성이 우수하며 설비가 단순하고 조작성이 간편하며 냉각수소요량이 작을 뿐만 아니라 건설기간이 짧은 장점이 있는 반면에 사용연료와 유지비용이 고가이고 단위설비용량이 작은 단점을 갖고 있다. 열효율은 가스터빈 30%내외, 저속디젤엔진 42% 정도이며 배기온도가 높아 대기에 영향을 미치기 때

문에 비상용, 첨두부하용 또는 도서지역에서 주로 사용된다. 가스터빈의 주 연료로는 천연가스나 경유를 사용하며 경유 사용 시에는 배기중의 질소산화물 제거를 위해 다량의 순수가 필요하다. 디젤엔진의 주 연료는 경유 또는 중유가 사용되고 경유 사용 시에는 탈질설비가 필요하고 중유를 사용할 경우에는 탈황 및 탈질설비가 필요하다. 또한 디젤엔진발전은 소음과 진동이 심하고 수명이 짧으며 배기온도가 높고 고장으로 인한 정지율이 높아서 비상용발전기로 많이 설치되고 있다.

다. 가스복합화력 : 가스터빈과 증기터빈을 조합한 방식으로 주 연료로는 가스를 사용하는 경우가 많고 가스터빈만을 독립적으로 운전할 수 있어서 기동성과 부하추종성이 아주 우수하다. 열효율도 53% 수준으로 가장 높고 냉각수소요량이 증기터빈발전의 1/3 수준으로 적은편이며 소내전력소비율도 2% 정도로 가장 적은 반면에 질소산화물 배출감소를 위해 순수를 많이 필요로 하고 발전단가가 높아서 가스복합화력은 주로 중간부하나 첨두부하용으로 이용된다.

2. 발전소 에너지관리 추진절차

발전소의 에너지관리를 본격 추진하기 위해서는 사전준비, 현황분석, 성능분석, 개선방안도출, 경제성 분석의 순으로 업무가 진행된다.

가. 사전준비 : 발전소 에너지관리계획수립의 첫 단계로는 에너지관리 대상설비에 대한 사전준비가 필요하며 사전준비 대상으로는 대상설비도면 및 시운전자료, 운전일지, 성능복구자료 등 관련 자료를 준비하며 성능검증을 위해 진단용 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 성능계산 모듈을 구축하고 설계데이터를 모듈에 입력하여 설계 성능을 검증함으로써 성능계산 모듈의 신뢰성을 확보한다. 에너지관리대상설비의 우선순위 선정기준으로는 1차적으로 성능이 현저하게 저하된 설비를 최우선으로 선정하는 것이 일반적이며 특별히 성능이 저하된 설비가 없을 경우에는 에너지 사용량이 많은 설비 순으로 대상을 선정한다.

나. 현황분석 : 에너지관리대상설비의 우선순위가

선정되면 순서에 따라 대상설비의 운전현황을 파악하게 되며 1년 이상 장기간에 걸친 운전기록을 정밀하게 검토한다. 예로서 보일러의 경우에는 보일러의 배기가스 온도와 공기비의 변화를 분석하여 설비의 최초 인수성능시험자료나 성능복구직후의 운전데이터와 비교하여 성능저하 여부를 용이하게 판단할 수 있다.

현황분석을 위한 운전지표는 운전현황을 정량적으로 평가할 수 있는 지표로서 가동률, 부하율, 이용률이 주로 이용된다. 가동률은 실제운전시간을 해당 분석대상전체시간(1년의 경우에는 8760시간)으로 나눈 수치이고, 부하율은 생산량을 설비용량 과 운전시간의 곱으로 나눈 수치이며, 이용률은 부하율과 가동률을 곱한 수치이다.

운전지표는 대개 1년을 기본단위로 산정하는 것이 일반적이거나 계절에 따른 변동이 심한 경우에는 1개월 단위로 세분할 필요가 있고 특히 지역난방용의 경우에는 열 및 전력수요에 따라 운전모드가 크게 달라지고 다수의 기기가 운전모드에 따라 가동여부가 결정되므로 월별 운전지표 분석이 필수적이다.

다. 기기성능분석 : 기기성능분석은 사전준비단계에서 이루어진 설계 성능계산모듈에 그간의 변동사항을 반영하여 기준성능을 계산한 후에 실제운전데이터를 측정 입력하여 운전성능을 분석하는 순서로 진행되며 성능분석결과 성능이 저하된 기기와 성능저하요인을 도출하고 성능저하기기의 성능개선에 따른 효과를 예측하게 된다.

첫 단계인 기준성능계산은 설계당시와 비교할 때 기기의 추가설치나 구조변경 또는 사용연료의 변경 등에 따라 달라진 입력치를 성능계산모듈에 입력하여 새로운 사이클 성능과 기기성능을 산정함으로써 오류 발생 가능성을 최소화하기 위한 것이며 설계 성능은 제작사의 보증 성능이므로 성능예측모듈은 항상 설계 성능을 우선적으로 검정 한 후 사이클 변경이 있을 때마다 설계 성능을 토대로 기준성능을 재 산정 하며 이렇게 하여 성능예측 모듈의 신뢰성이 확보된 후에 현재의 운전조건을 입력하여 실제운전성능 계산한다.

현재성능계산은 입력데이터 취득과 성능계산으로 구분되며 입력데이터는 정밀급 계측시스템을 설치하고 성능에 영향을 주는 보조증기계통 등을 차단한 후 정상운전상태에서 ASME PTC에 의해 시행하며 성능시험은 비교적 높은 기술적 숙련도와 정밀한 계측

기 보정을 필요로 하므로 가급적 외부 성능시험전문 기관의 협조를 받으면 비교적 저렴한 비용으로 높은 정밀도의 성능시험결과를 얻을 수 있다. 현재성능시험이 완료되면 기준성능과 현재성능을 비교하여 발전 소열소비율, 터빈사이클 열소비율, 복수기진공도, 전열관 열관류율, 냉각수온도 등 성능에 큰 영향을 미치는 요인의 성능저하 여부와 성능저하 원인을 분석하고 복구에 따른 사이클 성능 및 영향을 산정한다.

라. 개선방안 도출 : 개선방안 도출단계로는 성능 시험결과 도출된 문제점에 대하여 성능복구, 성능개선, 운전관리합리화 등 개선분야별로 개선 아이디어를 모두 나열 한 후 유사항목별로 재분류하고 서로의 장단점과 실행가능성을 분석한 후 가장 바람직한 개선방안을 선정한다.

개선방안의 실행가능성을 검토할 경우에는 설치여건, 소요부지확보, 각종 인허가 관련사항, 부피 및 중량, 적용기술의 신뢰성, 유틸리티추가소요 등을 모두 감안하고 개선 시행 시 계통에 미치는 영향 등 기술성을 검토하여 개선방안으로 선정한다.

마. 경제성 검토 : 개선방안이 기술적으로 아무리 타당하다고 하더라도 경제성을 확보 할 수 없으면 실행되지 못하게 된다. 경제성 검토단계는 일차적으로 투자비를 정밀하게 산정하고 개선시의 편익과 비용을 분석하여 경제성을 분석하며 경제성 검토 시 적용된 에너지가격, 이자율 등 주요 인자의 변동요인에 대한 민감도 분석을 거쳐 경제성이 충분히 입증된 후에 개선방안의 시행여부를 최종 결정한다.

3. 발전소 성능계산 프로그램

발전설비의 효율적인 에너지관리를 위해서는 수시로 발전시스템의 사이클열평형을 계산할 수 있고 또한 단위기기의 성능계산이 신속하고 정확하게 이루어져야 하며 이를 위해서는 발전시스템의 특성에 가장 부합한 시뮬레이션프로그램을 활용할 필요가 있다. 시뮬레이션프로그램은 성능분석에 필요한 계산모듈과 단위기기들의 특성에 대한 정보를 내장하고 있기 때문에 성능진단시뮬레이션프로그램을 사용하여 개별기기들의 모델을 구축하고 구축한 모델들을 연계·통합

함으로써 개별기기의 성능변화가 전체시스템에 미치는 영향을 쉽고 정확하게 분석 할 수 있다. 상용화된 주요 발전설비용 시뮬레이션프로그램의 종류와 특성은 다음과 같다.

가. PEPSE : 미국 사이언테크사에서 개발한 프로그램으로 보일러와 증기터빈 사이클의 열평형계산을 주목적으로 개발되었으며 성능계산결과의 정확도가 매우 높고 사용자가 임의로 계통구성을 할 수 있어서 원자력 2차계통, 스팀터빈발전, 열병합발전의 열평형 계산에 많이 사용되고 있다.

나. GT-PRO, GT-MASTER : 미국 씨모플로우사에서 개발한 프로그램으로 가스터빈, 복합 및 열병합발전설비의 다양한 운전조건에서 성능계산이 가능하며 전 세계 가스터빈 제작사에서 생산되는 가스터빈모델별 데이터베이스를 내장하고 있어 설계모델을 구축하는데 우수한 성능을 보유하고 있다. 본 프로그램은 비교적 정확도가 높은 것으로 평가받고 있으나 사이클 구조를 임의로 변경하는 데에 대한 적응성이 취약하여 임의의 플랜트에 적용하는 데에는 한계가 있다.

다. STEAM-PRO, STEAM-MASTER : GT-PRO와 마찬가지로 씨모플로우사에서 개발하였으며 화력, 열병합발전, 원자력2차계통 등 보일러-스팀터빈 사이클의 열성능분석에 사용되고 기능은 PEPSE와 유사하나 사이클구조의 유연성에 한계가 있어서 주로 플랜트설계모델에 이용된다.

라. Thermoflex : 미국 씨모플로우사에서 개발하였으며 화력, 열병합발전, 가스터빈, 복합발전 등 대부분의 열생산설비를 포함한 유틸리티공급설비의 설계조건 및 운전조건에 대한 성능계산이 가능하다. 계산결과의 정밀도가 다른 프로그램에 비하여 다소 떨어지지만 유연성이 높기 때문에 많이 이용된다.

마. GateCycle : 미국 GE사에서 개발하였으며 씨모플렉스와 유사한 팩키지로서 화력, 열병합, 가스터빈, 복합 등 다양한 설비의 열평형계산을 목적으로 개발되었으며 설비구성방법이 단위기기별로 나누어져 있어서 사용자가 임의로 구성할 수 있으나 엔지니어

링데이터베이스가 취약하여 플랜트개념설계 및 연구 분야에 많이 활용되고 있다.

바. Cycle-Tempo : 네델란드의 TNO-MEP사에서 개발하였으며 발전설비의 설계 및 열수지, 물질수지 산정을 위한 팩키지로서 설계점 및 부분부하특성 운전특성에 대한 예측이 가능하며 엔지니어링데이터베이스가 취약하여 시스템성능분석용으로 사용하는 데에는 다소 부족하고 플랜트개념설계와 연구 분야에 적합하다.

사. Aspen Plus : 미국 아스펜테크놀러지사에서 개발하였으며 범용 공정모사 프로그램으로서 화학, 석유화학, 유틸리티플랜트 및 이를 구성하는 각 단위 기기에 대한 정상상태 성능모사에 주로 이용된다. 물질수지에 관한 전 세계 모든 프로그램 중 가장 우수한 것으로 평가되며 발전설비를 구성하는 기기들에 대하여는 모듈별로 구성되어있는 여러 기기모델들을 조합하여 시스템 구성이 가능하나 가스터빈과 같은 일부기기들에 대하여는 발전설비 전용프로그램보다 정밀한 성능분석에 어려움이 있다.

발전소진단에 시뮬레이션프로그램을 사용할 경우에는 사전에 대상 발전설비의 사이클구조와 설계사양을 입력하여 프로그램의 계산결과가 발전설비의 설계 및 운전특성을 정확하게 일치하도록 시험운용을 통하여 일치시켜야 프로그램의 오류를 방지할 수 있으며 계산결과의 출력을 엑셀프로그램과 연동시키면 운전 조건이 바뀔 때마다 별도의 분석과 보고서작성 없이 계산결과를 다양한 형태의 보고서로 자동으로 작성하게 할 수 있다.

4. 발전소 에너지관리 기본

발전소 에너지관리를 위해 기본적으로 알아야할 사항으로는 보일러의 손실요인, 공기에열기의 효율저하요인, 가스측 온도효율, 온도효율저하 시 보일러에 미치는 영향, 공기누설율, 공기누설율 변화에 따른 손실, 공기에열기의 효율적관리, 터빈손실, 터빈내부효율저하원인, 터빈의 효율적 운전방법, 복수기의 진공도와 효율관계, 냉각수온도가 복수기에 미치는 영향, 관청결도가 복수기에 미치는 영향 등에 대하여 기본지

식이 필요하다.

보일러의 성능을 저하시키는 가장 큰 원인은 증유를 연료로 사용할 경우에는 건배기가스 손실이며 석탄을 연료로 사용할 경우에는 미연분 손실이다. 건배기가스 손실이 증가하는 원인은 공기에열기의 성능저하와 과잉공기운전이며 미연분 손실이 증가하는 요인은 미분도 저하, 냉공기 유입, 탄질저하가 주요인이다.

공기에열기의 효율저하 원인은 온도효율 저하와 공기누설을 증가이며 석탄연소시에는 홀라이애쉬에 의한 열교환소자의 마모로 열교환량이 감소되고 고온측 셸플레이트의 마모와 변형에 의해 누설율이 증가된다. 증유연소 시에는 더스트에 의한 열교환소자 막힘, 저온측 열교환소자부식, 고온측 셸플레이트의 마모에 의해 열교환기 효율이 저하된다.

가. 가스측 온도효율 : 온도효율은 특정한 용도에 가장 적합한 열교환기를 선정하기 위해 사용되며 공기에열기의 온도효율이 저하되면 배가스열손실이 증가되었음을 의미하며 이것은 출구가스온도가 상승되었음을 의미한다. 가스측 온도효율은 A/H 입구가스온도에서 A/H 출구가스온도를 뺀 수치(누설이 없을 때로 환산)를 A/H 입구가스온도에서 A/H 입구공기온도를 뺀 수치로 나눈 것이다.

나. 공기누설율 : 용그스트럼(회전재생형)열교환기는 대부분 로터의 회전에 따라 구조적으로 발생하는 반입누설(20-30%)과 밀폐부위를 통해 고압측연소공기가 저압측 배기가스로 직접누설(70-80%)이 발생한다. 누설율이 증가하게 되면 송풍공기량이 커져 송풍기부하가 증가되며 아울러 냉단온도 관리를 위한 SAH의 증기부하도 커지게 되므로 공기누설율을 낮게 유지하는 것이 에너지관리상 아주 중요하다.

공기누설율이 증가하는 원인으로는 설계온도조건과 실제온도조건과의 차이에 의한 셸간격 과대, 설계열변형량과 실제열변형량의 차이발생에 따른 간격증가, 셸플레이트 및 대응면의 부식과 변형 및 마모, 셸플레이트의 탈락, 닥트부식 등에 의한 대기흡입 등에 기인하므로 누설율관리를 철저히 한다.

다. 전동기 속도제어 : 펌프나 송풍기의 회전속도를 조절하게 되면 전동기소비전력을 아주 효율적으로 줄일 수 있으며 전동기 속도제어방법으로는 인버

터제어와 유체클러치제어방식이 많이 적용되고 있다. 전동기 속도 제어 시 이점으로는 전동기소비전력절감, 효율적인 유량제어와 함께 기기의 수면연장효과도 얻을 수 있어서 발전소 운전부하의 변동이 많은 발전소는 속도제어장치 도입을 적극 검토한다.

라. 터빈내부손실 : 터빈내부손실에는 형상손실, 날개입구손실, 디스크마찰손실, 2차유동손실, 동익선단손실, 축 누설손실, 배기손실이 있으며 터빈내부손실의 저하원인은 설계측면과 운전측면으로 구분된다. 설계측면에서의 저하원인으로는 노즐과 블레이드에서 발생하는 형상손실과 2차유동손실, 날개선단의 누설손실, 최종단 배기손실, 저압터빈최종단 수분손실이 있고 운전측면의 저하원인은 사용증기의 질 저하에 의한 내부스케일형성, 마찰에 의한 Seal Strip 간격확대, 노즐 및 블레이드의 마모와 부식에 의해 터빈내부효율이 저하된다.

마. 복수기 기준진공도 : 복수기는 발전소의 출력과 효율에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 설비이며 우리나라는 계절에 따른 기온변화가 현격하므로 복수기의 효율적 관리를 위해서는 확실적인 설계진공도를 고집할 것이 아니라 계절적으로 합리적인 기준진공도를 설정하여 관리하는 것이 바람직하다.

겨울철에는 냉각수온도 저하로 복수기가 과냉되면 습분증가로 터빈최종단 날개의 침식손상을 초래하고 효율도 감소되므로 발전소에 적합한 진공상한치를 설정하고 이에 맞추어 냉각수 유량조절이 필요하며 복수기의 진공도가 기준진공도에 미치지 못하면 연속세정장치를 점검하여 복수관 관청결도를 높여야 한다.

바. 질소산화물 발생억제 : NOX는 그 생성과정에 따라 Thermal NOX와 Fuel NOX 로 구분되며 Fuel NOX 는 연료중의 질소화합물을 감소시켜 억제가 가능하고 Thermal NOX는 연소관리를 합리화함으로써 제어가능하다. Thermal NOX발생을 줄이기 위해서는 공기비를 낮추고 연소용 공기온도를 가급적 높지 않게 유지하며 1차 화염구역을 냉각시키고 버너배치를 Tangential Firing으로 하며 주화염 영역에서 공기량을 낮추어 Fuel-Rich 하는 2단연소를 실시하는 것이 좋다.

사. 저온부식방지 : 연료중의 유황은 연소되면 SO2를 발생시키고 SO2는 연소과정에서 산화되어 SO3가 되며 SO3가 연소가스중의 수증기와 결합하여 황산(H2SO4)증기가 된다. 연소가스온도가 노점 이하로 되면 황산증기는 저온부표면에 응결되어 공기예열기, 송풍기, 연도 등을 부식시키게 되므로 배가스온도가 노점이하로 냉각되지 않도록 관리를 철저히 한다.

배가스의 노점은 수증기분압 및 과잉공기율에 따라 달라지며 대략 40-50°C 사이에 있으나 황산을 함유하면 노점이 급격히 상승하여 130-180°C까지 상승하게 된다. 공기비를 아주 낮게 운전하면 SO3의 생성을 줄일 수 있게 되어 저온부식을 방지할 수 있다.

아. 고온부식방지 : 연료중의 바나듐은 연소 시 산화되어 바나듐산화물(VmOn)을 형성하게 되는데 이중 V2O5 슬래그는 용점이 670°C로 낮아 고온부인과 열기 및 재열기에 용착되어 심한 부식을 일으키므로 저 과잉공기 운전을 하여 V2O5의 생성을 억제하여야 한다.

5. 계통별 에너지관리

발전시스템계통은 보일러(폐열회수보일러 포함), 가스터빈, 증기터빈계통, 기타부분으로 구분되며 각 계통별 주요 에너지관리방안은 다음과 같다.

가. 보일러계통 : 보일러의 주요 에너지관리대상으로는 공기비, 공기예열기의 누설 여부 및 온도효율, 전기집진기의 공기누입, 배가스온도, 보일러효율 등이다.

발전용 보일러의 공기비는 산업자원부에서 고시한 에너지관리기준 이하로 유지하여야 하며 터빈부하율이 70% 이상 일 때 고체연료는 1.25이하, 액체연료는 1.2이하, 기체연료는 1.15이하, 공정 부생가스는 1.15이하로 유지되어야 하며 공기비가 과다하면 보일러의 배가스손실이 증가하여 열효율이 저하될 뿐만 아니라 송풍기소비전력도 증가되므로 반드시 고시기준치 이하로 낮추어야 한다.

발전용보일러의 공기예열기로는 대부분 용그스트럼열교환기가 설치되어 있으나 이 공기예열기는 여러

가지 장점에도 불구하고 공기의 누설손실이 많아서 열효율이 저하되고 송풍기소비전력이 증가되므로 Seal 및 Element를 자주 교체하여 공기에열기 성능을 복구하고 폐열회수율을 높인다. 전기집진기입출구의 온도나 유량의 변화를 측정하면 전기집진기의 공기유입 여부를 판단할 수 있으며 공기유입이 발생하면 집진기출구 가스온도가 감소하고 IDF전력소비가 증가되므로 공기유입지점을 보수하고 배가스 폐열회수를 강화한다.

연료사용규제에 따라 연료의 황 함유량이 감소하면 배가스의 저온부식 발생온도도 낮아지므로 배열회수율을 높일 수 있으며 에너지관리기준에 고시된 발전용 보일러의 배가스 기준온도는 고체 및 액체연료는 160°C, 기체연료는 110°C이하로 낮게 유지하도록 규정되어 있다.

보일러가 여러 대인 경우에는 보일러의 열효율이 보일러 가동의 우선순위 선정기준이 되며 효율이 높은 보일러의 가동률을 높게 운전하며 폐열회수보일러의 경우에는 가스터빈 및 폐열회수보일러(HRSG)에서 가스누설이 발생하지 않도록 연결부위의 밀폐를 철저히 하고 연결덕트의 보온을 강화하여 방열손실을 최소화 한다.

나. 가스터빈계통 : 가스터빈의 주요 에너지관리 대상으로는 순수사용, 부분부하특성, 대기온도, 연료가열, 입구여과기관리, 휠스페이스온도, 공기압축기압력비 등이다.

터빈배기중의 질소산화물을 줄이기 위해 순수를 연소실내로 분무하게 되는데 설계치보다 분무량이 많으면 HRSG의 열손실이 증가되므로 순수 공급장치의 설정치를 조절한다. 가스터빈은 대개 첨두부하용이 많으므로 부분부하에서 운전될 때가 많은데 이때에는 운전모드를 최적화하여 최대한 부하율을 높여 운전한다.

여름철에 대기온도가 상승하여 터빈 흡입공기 온도가 올라가면 터빈출력이 크게 저하되므로 증발냉각장치설치 등을 통한 공기온도 저하방안을 검토하고 연소기로 공급되는 연료온도가 낮으면 연료소비가 증가되므로 가스터빈입구 허용온도 범위 내에서 폐열을 이용하여 연료온도를 가급적 높게 유지한다.

공기여과기가 오염되면 흡입저항이 증가되어 압축기출구 공기압이 감소하고 따라서 가스터빈 출력도 감소되므로 자정식 필터를 사용하거나 여과기세정 또

는 교체를 실시한다.

휠 스페이스온도가 설계치를 초과하면 가스터빈 출력이 제한되므로 냉각공기의 온도를 낮추는 방안을 강구하고 공기압축기의 출구공기온도와 토출압력을 측정하여 공기압축기의 압력비 저하여부를 판단하여 성능이 저하되었으면 공기압축기 날개를 세정하여 성능을 복구시킨다.

다. 증기터빈계통 : 증기터빈의 추기 및 배기압력이 설계치보다 높아지면 증기터빈의 출력이 저하되므로 추기 및 배기압력의 조정을 검토하거나 증기추출지점 변경을 검토하고 수위제어밸브 및 배관의 적정성을 검토한다.

또한 주증기 및 재열증기의 온도 및 압력이 설계치보다 감소하면 사이클의 열소비율이 증가되므로 노내 화염 및 연소가스의 유동이 적정한지 점검하고 보일러 급수조건을 개선하며 보일러 부하율에 따른 최적 연소방안을 검토한다. 밸브나 그랜드패킹의 증기누설량이 설계치를 초과하면 터빈출력이 감소하고 열소비율이 증가하므로 그랜드패킹 교체 등으로 누설량을 줄이고 GSC압력을 조절한다.

부분부하 운전 시에는 정격운전과 비교할 때 터빈 제어단 압력비가 증가하고 밸브교축 손실이 커지며 터빈최종단의 출력과 효율이 감소하고 재열증기 압력이 감소하여 열효율이 감소하며 급수온도가 감소하여 재생효과가 감소되는 등 손실이 크므로 운전모드 최적화를 통해 부하율을 최대한 높여 운전한다. 또한 보조증기용 추기량이 증가하면 증기터빈출력이 감소하므로 보조증기 절감방안을 강구한다.

라. 기타설비계통 : 수변전설비의 수전단 역율을 95%이상, 변압기효율을 99.5%이상으로 유지하며 변압기부하율을 가급적 높인다. 계통전압을 정격전압 또는 약간 높게 유지하고 증기관의 보온파손여부를 점검하며 드레인 트랩의 정상작동여부를 체크하고 응축수는 모두 회수하여 급수로 이용한다.

버너 분무용 매체로 압축공기를 사용하는 경우에는 증기로 교체하는 것이 좋으며 증기를 사용하는 경우에는 증기압력 및 온도가 설계치로 유지되도록 관리를 철저히 한다. 정지된 기기에 대해 불필요하게 냉각수가 공급되지 않도록 차단하고 냉각수출구온도를 적정하게 유지하며 필요시 냉각수펌프나 냉각탑

송풍기의 변속운전을 검토한다.

6. 기기별 에너지관리방안

발전소의 에너지관리를 위한 중점관리대상 기기로는 증기터빈, 복수기, 급수가열기, 전동기, 펌프, 송풍기, 공기압축기, 조명기기 등이며 기기별 주요 관리사항을 요약하면 다음과 같다.

가. 증기터빈 : 증기터빈의 내부효율이 저하되면 증기터빈출력이 감소되며 증기터빈 내부효율의 저하여부는 터빈배기의 과열도를 측정하여 설계치보다 높으면 내부효율이 저하된 것으로 판단할 수 있다. 내부효율을 복구하기 위해서는 노즐 및 날개를 보수 또는 교체하여 증기통로 손실을 줄이고 Seal Strip을 교체하여 터빈날개끝 부분의 증기누설을 줄인다.

나. 복수기 : 열병합발전소에서 많이 사용하는 추기배압형 증기터빈에는 복수기가 설치되어 있지 않으나 상용발전소의 증기터빈에는 대용량의 복수기가 설치되어있다.

복수기출구 냉각수유량이 감소하면 냉각수온도가 상승하고 복수기 진공도가 저하되어 터빈출력이 감소되므로 이때에는 전열관의 세정 또는 교체, 냉각수펌프 임펠러 점검, 냉각수펌프 흡입수두증대를 통한 토출량 복구, 토출관 수실 공기제거를 통한 사이편복구, 순환수펌프 용량검토 등을 실시한다.

복수기의 열부하가 증가되면 복수기성능이 저하되므로 복수기로 연결된 덤프밸브, 릴리프밸브, 우회밸브, 차단밸브누설복구, 증기가열기 및 증기터빈 성능 저하여부를 점검한다. 복수기내로 외부공기가 유입되거나 shell내에 가스가 정체되면 복수기성능이 저하되므로 각 연결계통 기밀부를 점검하고 증기에젝터 또는 진공펌프의 성능을 복구한다.

복수기의 열교환파이프를 폐쇄하면 전열면적이 감소하여 복수기 진공도가 저하되므로 폐쇄된 전열관을 교체하여 전열면적을 복구시키고 전열관이 오염되면 중단온도차가 커지고 냉각수출구온도와 압력손실이 커지며 복수기진공도가 저하되므로 전열관을 세정하거나 교체하고 취수측 여과장치의 성능을 복구한다. 복수기 Hotwell의 수위는 규정수위를 유지하도록 하

며 이상이 있으면 복수펌프 성능을 점검하고 레벨센서와 제어장치의 성능을 복구시킨다.

다. 급수가열기 : 급수가열기의 중단온도차가 설계치보다 커지면 급수가열기의 온도효율이 저하되므로 이때에는 채널측 수실격판, 배플과 셸 및 튜브사이의 간극, 충격방지판, 전열관의 손상부를 보수 또는 교체하고 바이패스밸브 누설을 방지하며 레벨센서 및 드레인조절밸브의 개도를 조정하며 벤트장치의 성능을 복구하고 추기입구밸브를 완전 개방한다. 열교환기의 폐쇄관수가 많으면 전열면적이 감소하여 급수가열기의 온도효율이 저하되므로 폐쇄전열관을 교체하여 전열면적을 복구한다.

라. 전동기 : 전동기부하율이 70% 이하이고 가동률이 65%이상인 전동기는 가변속제어장치의 설치를 적극 검토하며 가동률이 75%이상인 일반전동기는 고효율전동기로 교체한다.

마. 펌프 : 재순환배관에 유동이 있으면 재순환밸브에 누설이 있으므로 밸브를 보수하거나 교체하고 펌프의 양정 및 유량이 설계특성곡선에 미치지 못하면 펌프효율이 저하된 것이므로 임펠러의 성능복구, 웨어링 링의 교체, 흡입압력저하 원인분석을 실시한다.

또한 양정 및 유량이 설계치보다 과다하면 전력소비가 증가되므로 적정용량펌프로 교체하거나 임펠러를 절단한다. 효율이 낮은 펌프는 고효율펌프로 교체하고 수요처에서 요구하는 유량 및 압력의 변화가 크고 가동률이 65%이상인 경우에는 소용량 펌프로 교체하거나 가변속제어장치 설치를 검토한다. 저 부하로 여러 대의 펌프가 운전되면 대수선택 운전방식을 도입하고 불필요하게 펌프가 가동되는 설비는 펌프가동을 중단시킨다.

바. 송풍기 : 수요처에서 요구하는 풍량의 변화폭이 큰 설비에는 가변속제어장치를 설치하고 설계치보다 용량이 과다한 송풍기는 적정용량의 송풍기로 교체하며 흡기온도가 높으면 전력소비가 증가하므로 흡입구 위치를 변경하여 흡기온도를 낮추고 효율이 낮은 송풍기는 고효율송풍기로 교체하며 저 부하로 여러 대의 송풍기가 가동되는 경우에는 대수제어를 도

입하여 송풍기의 부하율을 높인다.

사. 공기압축기 : 공기압축기가 실내에 설치되어 있으면 흡입온도가 올라가므로 외기흡입덕트를 설치하고 토출공기 압력이 과다하게 높으면 압력을 최소 수준으로 조정하며 드레인밸브 누기를 방지하기 위하여 에어트랩을 설치하고 압축공기 건조기의 운전방식이 시간제어 운전인 경우에는 퍼지공기량 손실이 많으므로 노점온도제어방식으로 바꾼다.

아. 조명기기 : 발전소는 가동률이 높아 조명전력 소비가 많으므로 자연채광을 최대한 활용하고 일반조명은 고효율조명기기로 교체한다.

7. 발전설비 개선사례

가. 성능시뮬레이션 프로그램 활용 : 발전소에너지관리를 위해 성능시뮬레이션 프로그램을 사용할 때의 이점으로는 첫째 발전설비의 성능저하 정도를 신속하고 정확하게 파악할 수 있고 둘째 성능저하의 원인분석이 용이하며 셋째 주요기기의 설계점과 운전점을 명확하게 파악할 수 있고 넷째 성능개선후의 효과를 정확하게 예측할 수 있으며 다섯째 성능저하요인의 변화에 따른 플랜트 성능변화 추이를 용이하게 분석할 수 있는 점이다.

복합화력 발전설비는 하절기에 외기온도가 상승하면 가스터빈의 흡입공기온도가 높아져 터빈성능이 두드러지게 저하하며 외기온도를 낮추는 방법으로는 증발식냉각기 설치, 흡수식냉동기 설치, 전기냉동기 설치의 3가지 방법에 대하여 GT-PRO 프로그램을 사용하여 3가지 방법에 대한 효과를 예측하여 증발냉각기를 설치하는 방법이 냉각효과가 다소 적은(터빈효율 0.3%향상)반면에 투자비가 저렴하여 가장 경제성이 높다는 결론을 얻을 수 있었다.

또한 여름철에 냉각수온도가 상승하여 복수기 진공도 저하에 따른 발전효율 감소를 줄이기 위해 냉각수 유량제어, 진공펌프 대수제어를 실시하는 등 복수기 성능저하 및 복구효과를 정확하게 예측하여 열효율을 개선시켰다.

또한 125MW급 석탄화력 발전소에서 STEAM-PRO 프로그램을 사용하여 증기터빈의 설계모델과 운

전모델에서의 증기팽창선도를 각각 작성 비교함으로써 증기터빈의 성능이 저하된 주 요인이 설계조건에 비하여 단락효율의 저하에 의한 것임을 알아내어 개선한 사례도 있다.

원자력발전설비의 2차 계통은 재열기가 설치되어 있고 터빈추기단에서 수분분리가 이루어지는 점을 제외하면 화력발전설비와 유사하며 일부 원자력발전소에서는 탈기기를 설치하지 않고 복수기에 탈기기능을 부여하여 복수기출구의 용존산소 제한치를 엄격하게 관리하게 되며 따라서 복수기 냉각수온도가 지나치게 낮아지면 용존산소가 증가하게 되나 Thermoflex 프로그램을 사용하여 복수기 진공도변화가 출력과 효율에 미치는 영향을 정밀하게 분석하여 수분분리의 효율을 8%정도 상승시켜 발전출력이 2MW증가되고 효율이 0.1% 향상되었다.

열병합발전소는 Thermoflex 프로그램을 적용하여 발전소구성에 맞는 모델을 구성하고 설계성능과 실제운전데이터를 비교하여 단위기기의 성능저하여부를 파악하고 성능복구를 실시함으로써 열병합발전소 열소비율이 크게 개선되었다.

나. 보일러튜브 관통부위 개선 : 본 발전소의 보일러 튜브의 관통부위는 수냉벽관이 링 헤더로 연결되는 부위와 과열기관이 절환되는 부위에 100개소 이상이 있으며 보일러의 기동과 정지 시에 수축팽창을 고려하여 케이싱과 관통되는 튜브사이에 10mm 이상의 틈새를 두며 내화물로 보강되어 있다.

그러나 보일러의 장기운전 시에는 관통부위마다 틈새가 벌어져 보일러운전 시에 다량의 외기가 유입되어 배가스 온도가 낮아지고 배열회수율이 저하되었으나 누설부위를 저렴한 비용으로 쉽게 막을 수 있는 도구를 개발하여 간단한 시공으로 기밀을 강화함으로써 연간 1.억원의 절감효과를 거두었다.

다. 미분탄발전소 백필터 설치 : 본 발전소는 미분탄 혼소를 하고 있는데 석탄건조 및 이송을 위해 고온의 순환공기를 사용하고 있으며 순환공기에는 석탄에서 증발한 수분과 분진이 다량 함유되어 있어 보일러 측면에 벤트버너를 설치하여 연소시키고 있다.

벤트버너 운전 시 노내 화염의 상향이동 등 연소불안정으로 배가스 온도가 상승되고 과열기 후부전열면의 열흡수량 증가에 의한 급수량 증가 등 어려움이

많았으나 백필터를 설치하여 분진을 회수하여 연료로 사용하고 벤투버너 운전을 중지함으로써 플랜트효율이 0.35% 향상되고 연간 2억원의 에너지절감과 시간당 30톤의 과열저감기 급수량 감소 효과를 거두었다.

라. 공기에열기 운전방식개선 : 본 발전소는 대기환경규제의 강화에 따라 중유연료의 황함유량이 최초 설치 시 3.8%에서 1.6%수준으로 낮아졌으나 공기에열기의 냉단온도를 낮추지 않고 운전함으로써 9년 동안 열교환기의 소자교체가 없었으나 다른 발전소보다 높다고 판단하여 SAH의 증기량을 조절하여 공기에열기 입구 공기온도를 95°C에서 82.4°C로 낮춘 결과 공기에열기 출구 배가스 온도가 152°C에서 143.5°C로 8.5°C 낮아졌으며 이에 따라 평균 냉단 온도가 123.5°C에서 113°C로 10.5°C 낮아졌으며 이때의 절감효과는 별도의 투자비 없이 연간 7억원의 에너지절감 효과를 거두었다.

마. 공기에열기 누설을 저감 : 본 발전소는 공기에열기의 누설율이 25%로 다른 발전소에 비해 과도하게 높게 나타나 누설율이 높은 원인을 조사해본 결과 전열소자 상단의 기밀이 불량한 것으로 판명되어 Hot Side의 높이를 50mm정도 증대시키고 Basket Type으로 개조하며 각종 Seal을 교체하여 누설율을 9.75%로 낮춤으로서 투자비는 3억원이 소요되었으며 연간 2.4억원의 절감효과를 거두었다.

바. 연소시험을 통한 연소효율향상 : 본 발전소는 50만 kw급 미분탄발전소로서 사용 중인 15개 탄종의 성상차이가 심하여 보일러의 연소가 불안정 하여 열효율이 저하되었으나 탄종 별 최적화 연소시험을 실시하여 손실을 최소화하는 연소공기량을 파악하여 버너 층별 부하분담량을 조절함으로써 과열저감용수, 배가스 손실, 미연분 손실이 감소되었으며 그 결과 열소비율을 6kcal/kwh줄여 연간 9.9억원의 에너지절감 효과를 거두었다.

사. 미연탄소분 발생억제 : 본 발전소는 7만5천 kw급 미분탄발전소로서 연소장애로 미연분이 많이 발생하여 원인을 분석한바 공기량제어가 부적절하며 1차공기량제어가 불량하고 미분기의 미분도가 불량하며 미분탄이송계통의 급탄이 불균일하고 벤투공기량

이 과다하며 연료중 수분함량 및 연료조성이 불균일한 것으로 조사되어 각종공기량, 풍압, 댐퍼개도를 조정함으로써 배가스 중의 산소량을 4%에서 2%수준으로 낮추었으며 홀라이애쉬가 14%에서 11%로, 버텀애쉬가 9%에서 8%로 감소되었으며 배가스손실감소, 미연탄소분손실감소, 송풍전력절감 등 연간 1.8억원의 절감효과를 거두었다.

아. 보일러급수처리방법 개선 : 본 발전소의 보일러는 가동정지시간단축 및 열효율향상을 위해 드럼이 없는 관류형을 적용하여 급수 중에 부식생성물이 보일러튜브내부로 유입되어 스케일형성이 급격히 이루어지며 스케일은 보일러압력을 상승시켜 급수펌프 부하를 올리므로 고도의 수질관리가 요구되고 빈번한 보일러튜브세정을 실시해야한다.

개선방법으로는 산소주입급수처리(OT)방법을 적용한 결과 보일러수질이 환원성분위기에서 산화성분위기로 바뀌어 견고한 산화피막을 형성하므로 철분농도가 감소하고 암모니아 주입량을 감소시킨 결과 PH 8.0-8.5로 유지되고 산화환원 전위도 부식억제방향인 양(+) 전위로 전환되었으며 보일러차압상승이 억제되고 급수처리약품 및 폐수발생이 저감되어 연간 12.8억원의 비교적 큰 절감효과를 거두었다.

지금까지 살펴본 바와 같이 발전소의 에너지관리를 위해서는 고도의 전문지식과 정밀측정기술, 성능분석프로그램운용능력 등을 갖추어야만 소기의 목적을 달성할 수 있으며 각 발전소별로 이러한 필요조건을 모두 충족하기에는 어려움이 있으므로 외부 필요시 에너지관리공단, 전력연구원, ESCO, KOPEC 등 외부전문가 및 전문기관과 협조하면 효율적인 에너지관리가 가능할 것이다.