

복합화력 제어가능 운전 파라미터의 실시간 영향산출 기법

주용진[†] · 박종호*

한전전력연구원, *충남대학교

(2006년 1월 16일 접수, 2006년 2월 22일 채택)

A Real-time Calculation Method on Performance Impact of Controllable Operation Parameters for Combined Cycle Power Plant

Yong-Jin Joo[†] and Jong-Ho Park*

Korea Electric Power Research Institute

*Chungnam National University

(Received 16 January 2006, Accepted 22 February 2006)

요 약

본 논문에서는 복합화력 발전시스템을 대상으로 온라인 성능감시시스템을 적용함에 있어 제어가능 운전 파라미터의 실시간 영향산출 기법을 고안하였다. 이 기법은 가스터빈 인입필터 차압, 압축기 효율 등과 같은 운전 파라미터에 대해 기대치와 현재치의 편차로 인해 얼마만큼 성능에 영향을 미치는가를 정량적으로 산출하여 사용자가 즉각적으로 성능향상을 위한 운전조작이 가능하도록 조치할 수 있는 성능관리지표로서 활용된다.

주요어 : 성능감시, 운전 파라미터, 복합발전, 온라인

Abstract — A calculation method on performance impact of the controllable operations parameter such as GT inlet filter ΔP , compressor efficiency, and condenser pressure was devised to achieve best performance of combined cycle power plant with the on-line performance monitoring system. This method calculates the performance impact on the deviation between “Expected” values and “Actual” values. Controllable parameter targets are determined based on achievable performance given existing equipments and control conditions.

Key words : Performance monitoring, Operation parameter, Combined cycle, On-line

1. 서 론

복합화력발전은 발전효율이 높고 환경오염물질 배출이 적어 2004년 6월 기준 발전량이 약 13,985 MW로서 전 발전설비의 25%를 점유할 정도로 국내 발전설비에서 차지하는 비중이 증대되고 있으며, 국내 전력시장도 자유경쟁에 의한 전력거래 체제로 변화됨에 따라 핵심 경쟁요소인 연료비 및 운전비용절감을 위한 발전소 최적 성능 유지에 많은 관심이 집중되고 있다.

과거에는 발전소 성능 변화를 파악하기 위해서 전통적인 방법에 의해 성능시험을 수행하고 ASME PTC Code^{[1][3]}에 의한 성능계산을 통해서만 성능의 변화를 인지할 수 있었다. 이와 같이 실시간으로 성능변화를 감지할 수 없어 성능열화가 발생한 상태에서, 또는 비효율적인 요소를 포함한 상태에서 운전을 지속하는 일이 빈번히 발생할 수밖에 없었다. 선진 외국에서는 이미 80년대 초반부터 실시간으로 발전소 운전 실측 데이터를 취득하여 발전소의 운전성능평가는 물론 설비의 이상유무 상태를 온라인으로 상시 감시하여 최적조건으로 운전되지 못하는 요인을 조기에 발견하여 해소함으로써 최적의 운전상태를 유지할 수 있는 실시간 발전소 성능감시에 대한 관심이 부각되었으며, 이를 구현하기 위한 중

[†]To whom correspondence should be addressed.
Korea Electric Power Research Institute
Tel: 042-865-5324
E-mail: yongjj@kepri.re.kr, jhpark@cnu.ac.kr

합적인 기술들이 개발되어 왔다^{[4][8]}. 발전소 종합성능에 지대한 영향을 미치는 주요 운전성능변수 감시에 의한 성능관리 기술에서부터 발전소 성능문제에 대한 해결책을 제시해주는 전문가 시스템에 이르기까지 점차 지능적인 기술로 진보되고 있다^[9]. 이와 같은 유사 시스템이 최근 상용화되어 여러 회사에서 경쟁적으로 해외 발전소에 설치되고 있으며, 적용된 발전소는 전 세계적으로 수백 개소에 달하고 있다. 특히 미국에서 성능향상 및 최적화 기술개발의 노력이 활발하여 성능감시 및 최적 운전 분야의 기술을 주도하고 있다. 국내에서는 IT 산업의 급속한 발전에 힘입어 2001년부터 발전소 설비 특성 및 운전특성을 고려한 맞춤형 실시간 성능감시시스템을 복합 및 기력 발전소에 적용하고 있으며, 점점 획기적인 기법들이 개발되고 있다^[9].

본 논문에서는 복합화력 발전시스템을 대상으로 온라인 성능감시시스템에 적용될 수 있는 제어가능 운전 파라미터의 영향산출 기법을 고안하였다. 이 기법은 가스 터빈 인입필터 차압, 압축기 효율 등과 같은 중요 운전원 제어가능 파라미터에 대해 기대치와 현재치의 편차로 인해 얼마만큼 성능에 영향을 미치는가를 정량적으로 산출하여 사용자가 즉각적으로 성능향상을 위한 운전조작이 가능하도록 조치할 수 있는 성능관리지표로서 활용된다.

2. 온라인 성능감시시스템 계층 구조

2-1. 시스템 개요

온라인 성능감시시스템은 실시간으로 방대한 성능변수를 효과적이고 체계적으로 관리하기 위하여 성능정보 관리시스템(Performance Information System)을 사용하여 발전소 운전 및 성능데이터를 효과적으로 저장하고 추적할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, 발전소 실제 성능계산에 필수적인 유효한 성능변수치를 계산하기 위해 실제 발전소의 각 설비 및 전체 발전소에 대한 질량 및 에너지 밸런스 식을 구성하고 실측 데이터를 근간으로 밸런스식을 만족하는 유효치를 구하여 성능계산 수행에 사용함으로써 보다 정확한 운전변수 및 성능 분석치를 획득함과 동시에 계측기의 오류를 판별하여 오류가 있는 계측기의 교정을 수행하도록 정보를 제공한다. 객관적인 발전 운전성능을 파악하기 위해 발전소의 실제 성능과 기대성능을 실시간으로 제공할 뿐 아니라 장기간에 걸친 발전소 성능열화를 파악할 수 있는 정격환산성능변수라고 하는 보조성능지표를 제공할 수 있도록 한다. 보조성능지표의 계산을 위해 기기 공급자가 제공하는 보장곡선, 개발된 상관식 및 기존의 성능분석엔진을 이용하여 성능계산 모델을 구성하며, 개발된 모델을 이

용하여 현재 운전조건에서의 정확한 실제성능, 기대성능, 정격환산성능을 계산함으로써 기기의 성능열화 및 전체 발전소의 성능열화를 객관적이고 신속하게 파악할 수 있다.

2-2. 시스템 하드웨어 구성

온라인 성능감시시스템과 A-복합화력 분산제어시스템(Distributed Control System; DCS)과의 연계, 그리고 성능감시 시스템이 탑재된 서버 및 버퍼노드 PC의 하드웨어 구성을 Fig. 1에 나타내었다.

성능감시시스템은 자동으로 발전소 운전 데이터를 취득하여 성능계산 및 최적화 계산을 수행하고 그 계산결과를 데이터 저장소에 저장한다. A-복합은 1블록과 2블록 각기 DCS와 Citect OPC(OLE for Process Control) 서버가 연결되어 있으며, 이 Citect OPC 서버가 제어실의 MMI(Man Machine Interface)와 PI API 노드를 위한 게이트웨이 역할을 한다. PI API 노드는 Citect OPC 서버에서 데이터를 수집할 수 있도록 인터페이스 프로그램이 설치되며 DCS의 운전데이터를 실시간데이터베이스(RTDB : Real Time Data Base) 서버로 전송한다. PI API 노드는 RTDB 서버와 성능감시(PEMOS : PErformance Monitoring Optimization System) 서버에서 이상이 발생하였을 경우 자동적으로 데이터를 보존하여 문제 상황이 해결된 후에도 데이터의 손실이 없도록 버퍼 역할을 한다.

RTDB 서버는 성능계산을 위해 필요한 데이터를 보관하고 여러 응용프로그램이 이 데이터를 사용할 수 있도록 데이터 저장소 및 플랫폼 역할을 하며, PEMOS 서버는 RTDB 서버로부터 데이터를 수집하고 각 블록의 최적화된 모델에서 성능계산을 수행한다. 또한 운전데이터와 성능계산 결과값은 사용자 편의에 맞추어 성능관리를 최적으로 수행할 수 있도록 응용 프로그램 화면을 제공한다. 사내 네트워크에는 RTDB 서버와 PEMOS 서

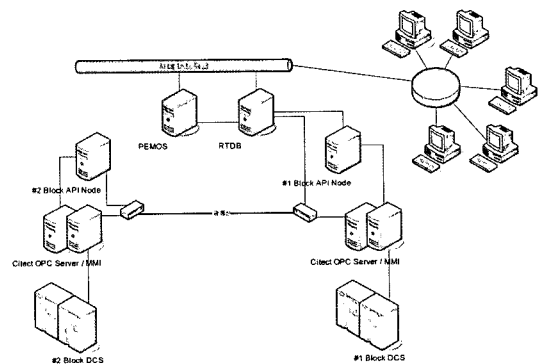


Fig. 1. Configuration of on-line performance monitoring system for A-combined cycle power plant.

버만이 연결되어 있으며, 사용자는 원하는 데이터의 종류와 응용 프로그램에 따라 자유롭게 RTDB 서버와 PEMOS 서버를 연결하여 데이터분석이 가능하도록 구축한다.

2-3. 시스템 소프트웨어 계층 구조

복합화력 온라인 성능감시시스템은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 크게 5개의 계층으로 구성되어 있고, 각 계층은 독립적인 기능을 수행하거나 서로 유기적으로 연계되어 순차적 기능을 수행한다.

구성계층은 발전소 분산제어시스템(1), 데이터 취득 및 저장계층(2), 온라인 프로세서 제어관리계층(3), 성능분석 및 진단모듈계층(4), 그리고 다양한 성능정보 결과를 제공하는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 계층(5)으로 구성된다. 전체 계산 흐름은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 온라인 성능감시의 대상이 되는 복합화력 주요 구성설비의 현재 실측값을 제어하는 발전소 분산제어시스템으로부터 온라인 실시간으로 성능감시 및 진단에 필요한 실측값을 취득한다. 온라인 플랫폼역할을 담당하는 데이터 취득 및 저장계층은 발전소 분산제어시스템으로부터 실시간으로 취득된 실측 데이터를 저장하거나 각종 성능감시관련 모듈의 성능분석 및 계산에 필요한 데이터를 제공하는 기능을 수행한다. 또한, 방대한 발전소 성능데이터를 효과적으로 저장하고 추적할 수 있는 기능을 제

공하고, 과거 운전 데이터를 호출할 수 있어 현재 운전 데이터와 비교함으로써 성능열화 등을 파악할 수 있는 실시간 데이터 관리기능을 수행한다.

다음으로 온라인 프로세서 제어관리 계층에서는 유효 데이터를 생성하기 위한 열정산모델이나 성능분석에 필요한 모델을 불러오며, 각종 성능분석 및 진단관련 모듈로부터 요구되는 데이터 및 데이터형식, 프로세서관리 및 연결된 프로세서 우선순위관리 등의 기능을 담당한다.

성능감시 시스템에서 가장 중요한 역할을 수행하는 성능분석 및 진단 모듈은 성능감시에 필요한 각종 성능계산 및 진단 전문가모듈 등이 위치하며 실측데이터를 기준으로 각종 성능분석결과를 제공한다. 이러한 일련의 모든 분석모듈의 결과들은 데이터 통신채널을 통하여 다시 데이터 취득/저장모듈로 보내지고 저장됨으로서 자동으로 발전소 성능정보의 구축이 이루어지며, 향후 과거운전 데이터의 열람이나 성능보고서 작성 시에도 편리하게 성능정보를 추출하여 사용할 수 있도록 한다.

다양한 그래픽 사용자 인터페이스(GUI : Graphic User Interface)를 통해 각종 그래프나 프로세스 다이어그램으로 성능상태 화면 및 성능보고서를 제공함으로써 발전소 성능정보에 대한 이해를 돕고 사용자 편의성이 우수한 시스템을 구현한다.

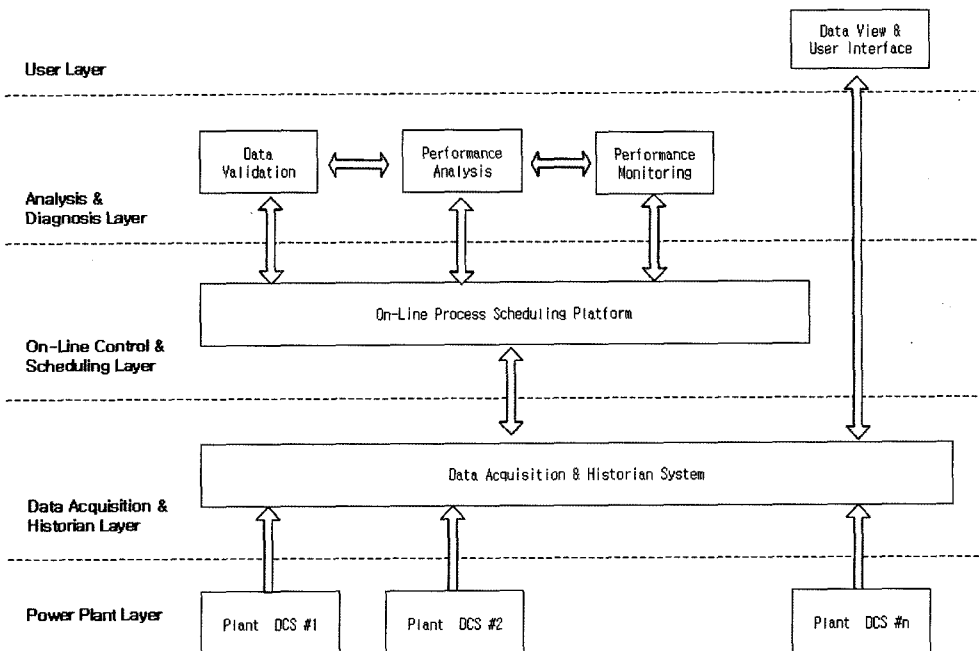


Fig. 2. System layer overview.

3. 제어가능 운전 파라미터의 실시간 영향산출 기법

전체 발전소를 구성하는 주요 구성기기의 비효율적인 요소에 의해 추가적으로 발생하는 운전비용의 증가, 즉 연료비의 증가는 발전소 운전성능의 판단지표인 열소비를 통해 확인할 수 있다. 열소비는 단위 전력을 생산하기 위해 투입되는 연료에너지의 비로서 효율의 반대개념을 갖는다. 주어진 운전조건에서 모든 구성기기가 최적의 성능에서 운전될 경우 열소비는 최소가 되며 그때의 열소비를 기대 열소비율(expected heat rate)이라 한다. 그러나 모든 기기가 항상 최적의 성능으로 운전될 수 없으며, 비효율적 운전요소 및 성능열화로 인하여 동일 출력을 생산하기 위해서는 추가적인 연료 투입이 요구된다. 이와 같이 현재의 운전상태 및 기기상태가 반영된 열소비를 실제 열소비율(actual heat rate)이라 정의한다.

실제치(Act)는 발전소에서 실측된 운전데이터를 이용하여 계산한 성능치를 의미하며, 기대치(Exp)는 제작사가 제시하는 각종 설계치 및 보정곡선을 기반으로 구축된 열정산 모델¹⁰⁾로부터 계산된다. 또한 열정산 모델은 전체 발전소 및 구성기기에 대해 질량 및 에너지 밸런스 식을 만족하는 유효치를 제공하여 보다 정확한 성능 계산이 가능하도록 한다.

가스터빈 인입필터 차압, 압축기 효율 및 복수기 압력등과 같은 중요 제어가능 운전 파라미터에 대하여 기대치와 현재치의 편차에 의한 영향을 정량화하여 사용자가 쉽게 인지할 수 있도록 차트형식으로 제공하면 성능향상을 위한 운전조작에 도움을 줄 수 있다. 여기서 제어가능 운전 파라미터란 제어실에서 근무하는 운전원에 의해 직접 또는 간접적으로 제어될 수 있는 운전변수를 의미한다.

3-1. 인입필터 압력강하로 인한 영향산출

복합화력발전소에서는 대기 중의 공기를 흡입하여 가스터빈 연소용공기로 사용함에 있어 압축기 블레이드의 오염을 방지하기 위해 공기덕트 입구에 필터를 설치한다. 이로 인해 압축기 인입공기의 압력강하(대기압과 압축기 입구공기압의 차이)가 발생하는데 압력강하가 정상치보다 커지면 압축기 압력비와 터빈으로 유입되는 질량유량을 감소시켜 효율과 출력을 감소시키는 요인으로 작용한다. 일반적으로 가스터빈 제작사는 Fig. 3과 같이 압력강하로 인한 영향을 보정그래프로 제시한다.

인입공기 압력강하(ΔP)로 인한 열소비율과 출력의 영향을 실시간으로 산출하기 위해 Fig. 3의 제작사가 제공한 상관관계 그래프를 Fig. 4와 같이 각각의 보정팩

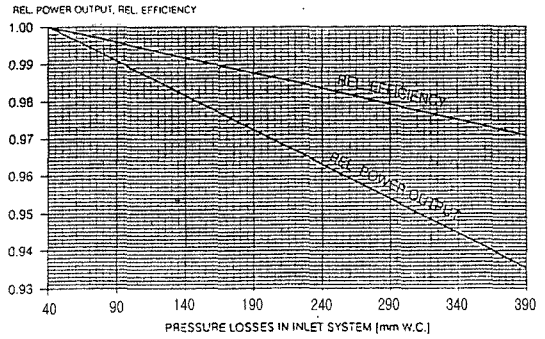


Fig. 3. Relative power output and efficiency correction for pressure losses.

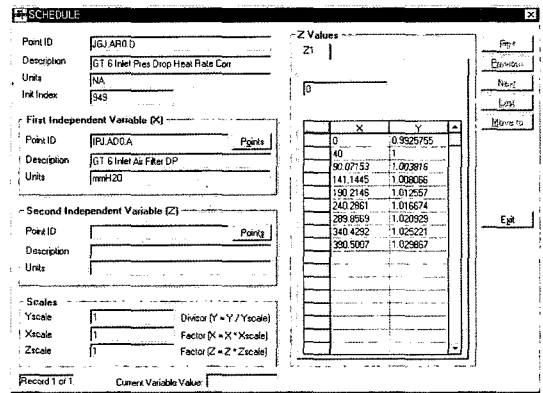


Fig. 4. Schedule of GT inlet pressure drop heat rate correction.

터(GT Inlet Pressure Drop Heat Rate(or Power Output) Correction) 표로 작성한다.

인입공기 압력강하의 실제치에 해당하는 보정팩터를 자동으로 호출하여 다음과 같은 식에 의해 정량화 한다.

$$\text{① 인입공기 압력강하로 인한 열소비율 영향 (GT Inlet Pressure Drop HR Correction-1)} \\ \times (\text{GT HR Act}) \tag{1}$$

$$\text{② 인입공기 압력강하로 인한 발전단 출력 영향 (1-GT Inlet Pressure Drop Power Output Correction)} \\ \times (\text{GT HR Actual}) \tag{2}$$

여기서,

- GT : Gas Turbine(가스터빈)
- HR : Heat Rate(열소비율)
- MW : Power Output(출력)
- Correction : Correction Factor(보정팩터)
- Act : Actual(실제치)

3-2. 압축기 효율 저하로 인한 영향산출

압축기 블레이드 외면에 불순물이 부착되어 이것이 성장하면 압축기의 효율을 저감시킨다. 그러므로 불순물의 유입을 사전에 방지하기 위해 공기 인입덕트에 필터를 설치하지만 완전히 차단할 수는 없다. 이러한 블레이드 침전물 생성으로 인하여 압축기 출구압력이 감소하며 출구온도는 증가한다.

다음의 압축기 등엔트로피 효율 계산식으로부터 침전물로 인한 영향을 계산할 수 있다.

$$\eta_c = \frac{100T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

여기서,

- η_c : 압축기 등엔트로피 효율
- T_1 : 압축기 입구온도
- T_2 : 압축기 출구온도
- P_1 : 압축기 입구압력
- P_2 : 압축기 출구압력
- k : 비열비(공기 1.4)

가스터빈 압축기 효율이 정상치보다 낮아짐에 의해 플랜트 성능에 얼마만큼 영향을 미치는지를 다음과 같은 수식에 의해 계산한다. 여기서 압축기 효율 손실로 인한 열소비율과 출력의 영향(GT Comp Eff Loss HR(or MW) Impact)은 Fig. 4와 같은 형태의 표를 만들어 이용한다. 복합화력발전소의 설비특성에 따라 이 영향은 다르지만, 일반적으로 95%이상의 부하운전 조건에서 압축기 효율이 1% 감소하면 열소비율은 0.4% 증가하고, 출력은 1.5% 감소한다.

① 압축기 효율저하로 인한 플랜트 열소비율 영향
Unit Net HR Actual

$$\times \left(\frac{\text{GT Comp Eff Loss HR Impact}}{100} \right) \quad (4)$$

② 압축기 효율저하로 인한 플랜트 출력 영향
Unit Net Output Actual

$$\times \left(\frac{\text{GT Comp Eff Loss MW Impact}}{100} \right) \quad (5)$$

여기서,

- Comp : Compressor(압축기)
- Eff : Efficiency(효율)

3-3. 복수기 압력 증가로 인한 영향산출

복수기의 압력이 설계치 이상으로 증가되면 증기터빈에서 충분한 일을 수행하지 못하므로 플랜트 전체에 중

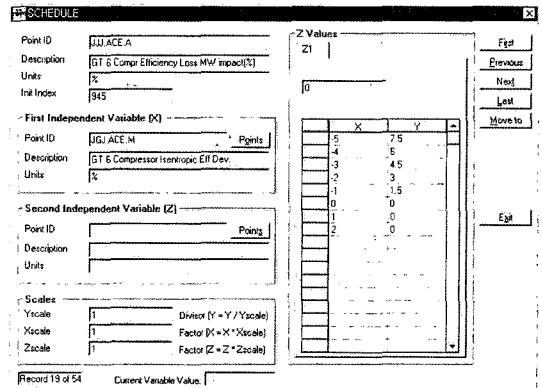


Fig. 5. Schedule of GT compressor isentropic efficiency loss impact (%).

지 않은 영향을 미친다. 이의 영향을 정량화하는 방법은 다음과 같다.

복수기 압력 증가로 인한 열소비율 영향은 식(6)과 같이 구할 수 있다. 여기서 Power Loss Due Cond BP Deviation은 식(7)에서 Cond Act BP MW Correction(%)은 Fig. 6의 표를 이용하여 실제 복수기 압력을 대입하여 구한 보정팩터이다. 그리고 Cond Exp BP MW Correction은 냉각수 입구온도를 이용하여 다음과 같이 계산한 복수기 압력에 해당하는 보정팩터이다.

① 복수기 압력증가로 인한 열소비율 영향

$$\begin{aligned} & \text{Unit Net HR Act} - (\text{Unit Net HR Cond Correction}) \\ & = \text{Unit Net HR Act} \\ & \frac{\text{Unit Total Heat Input Act}}{\text{Unit Net Output} + \text{Power Loss Due Cond Press Deviation}} \quad (6) \end{aligned}$$

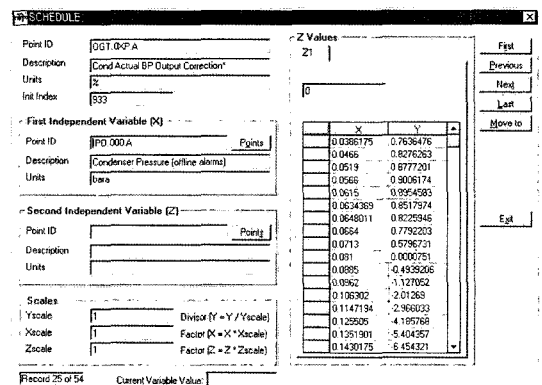


Fig. 6. Schedule of condenser actual back pressure output correction (%).

② 복수기 압력증가로 인한 출력 영향

St Gross MW

$$\left(\frac{1 + \frac{\text{Cond Act Press MW Correction}}{100}}{1 + \frac{\text{Cond Exp Press MW Correction}}{100}} - 1 \right) \quad (7)$$

식(7)의 우측항 분모에 해당하는 복수기 압력 기대치의 보정계수(Cond Exp Press MW Correction)을 구하기 위해서는 먼저 복수기 압력의 기대치를 식(8)과 같이 구한다.

$$\text{Cond Exp Press} = \text{stmTP}(T_{cw} + T_{rise} + \text{TTD}) \quad (8)$$

여기서,

- Cond Exp Press : 복수기 압력 기대치
- stmTP : () 안의 온도에 해당하는 포화 압력을 구하는 함수
- T_{cw} : 냉각수 입구온도
- T_{rise} : 냉각수 상승온도
- TTD : Hotwell 온도와 냉각수 출구 온도차

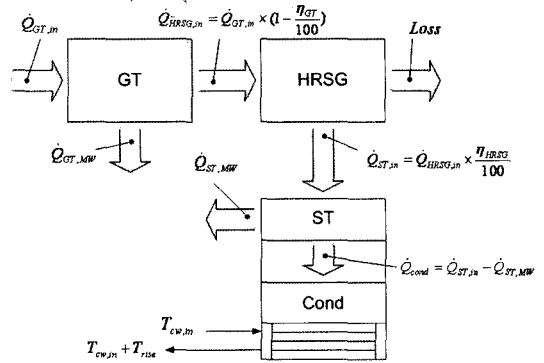


Fig. 7. Conceptual diagram of energy stream for combined cycle power plant.

또한 T_{rise} 를 구하기 위해 Fig. 7와 같이 열역학 제1법칙을 근간으로 하는 에너지 흐름에서 구할 수 있다.

$$T_{rise} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{C_p \cdot W_{CW}} = \frac{\dot{Q}_{ST,in} - \dot{Q}_{ST,MW}}{C_p \cdot W_{CW}} = \frac{[\dot{Q}_{GT,in} (1 - \frac{\eta_{GT}}{100}) (\frac{\eta_{HRSG}}{100}) - \dot{Q}_{ST,MW}]}{C_p \cdot W_{CW}} \quad (9)$$

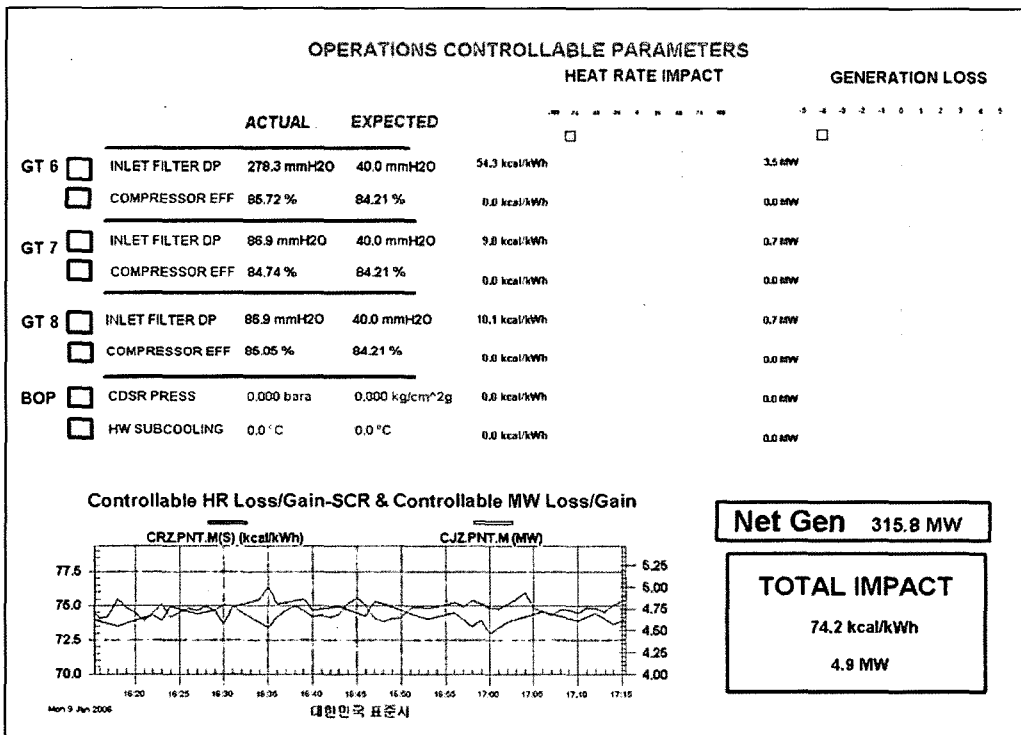


Fig. 8. Typical screen of impact of controllable operation parameters.

여기서,

- \dot{Q}_{cond} : 복수기 열부하(Condenser duty)[kcal/sec]
- C_p : 물의 정압비열[kcal/(kg °C)]
- W_{CW} : 냉각수 순환유량[kg/sec]
- $\dot{Q}_{ST,in}$: 증기터빈 인입에너지[kcal/sec]
- $\dot{Q}_{ST,MW}$: 증기터빈 출력[kcal/sec]
- $\dot{Q}_{GT,in}$: 가스터빈 인입에너지[kcal/sec]
- η_{GT} : 가스터빈 효율[%]
- η_{HRSG} : 배열회수보일러(HRSG) 효율[%]
- η_{ST} : 증기터빈 효율[%]

3-4. 적용결과

본 논문에서 정식화한 제어가능 운전 파라미터의 실시간 영향산출 기법을 복합화력 성능감시시스템에 적용한 결과는 Fig. 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 가스터빈 인입필터 차압, 압축기효율, 복수기 압력 등과 같은 제어가능 운전 파라미터에 대해 각각의 현재치와 기대치를 보이고 이들 편차로 인한 성능(열소비율 및 출력) 영향을 정량화하여 제공되고 있다.

가스터빈 6호기 인입필터 차압의 경우, 기대치가 40 mmH₂O임에 비해 실제치는 278.3 mmH₂O로서 이 편차로 인한 열소비율과 출력에 대한 영향 산출 결과는 각각 54.3 kcal/kWh, 3.5 MW이다. 이렇게 필터 차압을 기대치만큼 저감시키지 못함에 의한 성능의 악영향을 수치로 보임으로서 사용자가 적절한 시기에 필터 세정이나 교환을 수행할 수 있는 지표로 활용할 수 있다.

4. 결 론

복합화력 성능감시시스템은 운전 중 온라인 방법을 통해 실시간으로 전체 발전소 및 단위설비의 운전성능 감시 및 진단 결과를 제공할 수 있어 복합화력 발전설비의 실시간 성능평가, 성능열화 감시 및 성능향상 방안을 제시할 수 있다. 종래의 오프라인 방식이나 수동으로 발전소 운전성능을 평가하는 방식에서 온라인 실시간 방식으로 전환함에 따라 성능열화를 지속적으로 감시할 수 있어 설비 결함을 조기에 발견하여 조치함으로써 설비의 성능열화를 최소화할 수 있고, 체계적이고 신속한 설비 성능평가가 가능하여 설비의 건전성 확보는 물론 설비운전 효율을 최적으로 유지시킬 수 있다.

발전소 운영의 최종목표인 열소비율 최소유지를 위하여 성능감시시스템에 적용될 수 있는 제어가능 운전 파라미터의 영향산출 기법을 복합화력 설비를 대상으로 정

립하였다. 이 기법은 가스터빈 인입필터 차압, 압축기 효율 등과 같은 파라미터에 대해 기대치와 현재치의 편차로 인해 얼마만큼 성능에 영향을 미치는가를 정량적으로 산출하여 사용자가 즉각적으로 성능향상을 위한 운전조작이 가능하도록 조치할 수 있는 성능판리지표로서 활용된다.

향후 구성기별 열소비율 편차에 대한 원인분석뿐만 아니라 해결방안도 구체적으로 제시할 수 있도록 해당 발전소의 설비 및 운전특성에 따른 맞춤형 성능진단 모듈을 구축하여 성능감시시스템에 탑재하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. ASME. Performance Test Codes: Gas Turbine Power Plant PTC22, American Society of Mechanical Engineers, 1985.
2. ASME. Performance Test Codes: Gas Turbine Heat Recovery Steam Generators PTC4.4, American Society of Mechanical Engineers, 1981.
3. ASME. Performance Test Codes: Steam Turbines PTC6, American Society of Mechanical Engineers, 1976.
4. GE Enter Software LLC, Heat Balance Simulation Software for Performance Monitoring & Optimization of Combined Cycle & Cogeneration Power Plant. GE Power System Company, 2000.
5. Greg C. Alder, PMAX Performance Maximization On-Line Thermal Performance Monitoring (for Combined Cycle and Gas Turbine Application). ScienTech, Inc., 2000.
6. ABB, OPTIMAX Product Guide.Asea Brown Boveri, 2000.
7. McHale, Thermal Economic Monitoring and Performance Optimizer (TEMPO) System. Mchale and Associates Inc., 2001.
8. General Physics, EtaPRO Performance Monitoring Systems Combined Cycle Operation Optimizer. General Physics Corporation, 2000.
9. Kim, S.M. The development of on-line Performance Monitoring System For S-Combined Cycle Power Plant. Proceedings of the KAMES, 2002, 2558-2563.
10. General Physics, Virtual Plant. General Physics Corporation, 2003.