On-Line 실시간 성능감시 시스템을 이용한 화력발전소 운전 Parameter 값 비교분석

정훈†·박두용*

Comparison of properties at Fossil Power Plant by On-Line Real Time Performance Monitoring System

Hoon Jung and Dooyong Park

Key Words: RTPM(실시간성능감시), DCS(분산제어장치), DV(데이터유효화)

Abstract

As the power plant industry has been changed into competition structure, power generation companies do more with less by increasing capacity and lowering operation costs. In order to achieve this goals, an on-line real-time performance monitoring system has been needed to introduced to fossil power plant. The system represents a suite of related software modules which consist of on-line data, and on-line performance modules. This system can help the plant staff get the most out of their facilities by continuously monitoring deviations in equipment performance and the impact on those deviations on plant power, heat rate and operating cost. This paper shows the comparison of design value with acceptance test and current(measured) value.

1. 서 론

발전성능 분야의 세계적인 추세로써 운전 중 상시 발전소 성능을 감시하는 시스템을 경쟁적으로 도입하고 발전회사의 효율적인 설비운영이 중요한 현안으로 대두되고 있는 현 시점에서 국내 여건에 적합한 실시간 성능감시시스템을 개발함으로써 예측 가능한 발전소 운전으로 신뢰성을 보장할 수 있을 뿐 아니라 확장성 및 유지 보수성에 있어서도 경쟁력이 있는 국산 모델을 개발하여 국내 주요 발전소에 우선적으로 개발 시스템을 구축, 보급하고 있는 현실에서 이러한 시스템이 실시간으로 취득한 값을 토대로 계산하여 보여주는 값에 대한 신뢰성을 검증할 필요가 있다. 본 논문에서는 실시간 성능감시 시스템이 설치된 발전 플랜트에서 기준 값을 현재(측정) 값과 비교함으로써 그 차이를 분석하고 검증한다.

† 회원, 전력연구원
E-mail : power77@kepri.re.kr
TEL : (042)865-5395 FAX : (042)865-5395
* 전력연구원

2. 실시간 성능감시 시스템

2.1 하드웨어 구성

실시간 성능감시시스템의 데이터 송수신은 RTDB는 OSI Software사에서 개발한 PI 시스템을 사용하였다. PI 시스템 하드웨어 구성은 DCS와 POS 서버가 연결되어 있으며, PI API(Application Programming Interface) 노드는 이더넷(ethernet)을 이용하여 POS 서버에서 데이터를 수집한다. 태안화력 1,2호기와 3,4호기 PI API는 서로 다른 건물에 위치하므로 상호 운전정보 공유를 위해서 광케이블을 이용하여 독립적인 네트워크를 구성하였다. 기존의 사내 전산망을 이용하여 네트워크를 구성하는 경우, 각 블록의 POS 서버 간의 대

용량 데이터 전송이 수행되고 있기 때문에 사내 네트워크의 부하가 많을 경우 POS 서버 간의 데이터 전송의 지연 및 손실이 발생할 수 있고, 또 사내 네트워크가 직접 분산제어시스템과 접촉함에 따른 장애(바이러스 또는 해킹) 상황이 발생할 수 있기 때문이다. PI API 노드는 POS 서버와 실시간데이터베이스(RTDB) 서버를 서로 연결하며 RTDB 서버는 PI API 노드에서 오는 데이터를 저장하여 사내 네트워크와 성능감시 서버에 전달한다. 사내 네트워크에는 RTDB 서버와 성능감시 서버만이 연결되어 있으며, 사용자는 원하는 데이터의 종류와 응용 프로그램에 따라 자유롭게 RTDB 서버와 성능감시 서버를 연결하여 데이터 분석이 가능하도록 구축하였다.

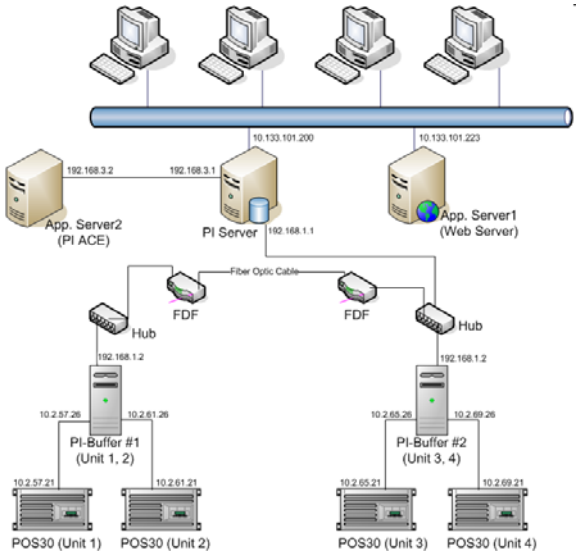

Fig. 1 Hardware for RTPM

2.2 소프트웨어 구성

2.2.1 Enterprise PI Server

시스템의 서버 소프트웨어로서, DCS, PLC, MMI, 수기 입력 등의 데이터 소스로부터 수집된 데이터를 실시간으로 계산, 보관 및 분배하는 역할을 하며 다양한 기능을 위한 module 및 PI로 구성되어 있다. PI server는 일정 단위의 태그 단위로 라이센스가 공급되는데, 본 프로젝트를 위해 5,000 태그 라이센스를 사용하였으며 PI server는 아래의 다음 그림 **Fig. 1** 과 같은 module들로 구성되어 있다..

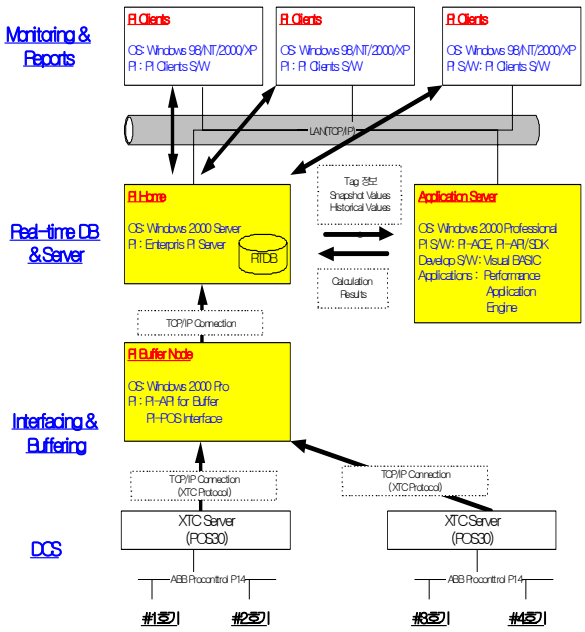

Fig. 2 Data Flow in RTPM

2.2.2 PI-API for Buffer

Distributed Data Collection(데이터 분산 수집) 및 Data Redundancy(데이터 이중화)를 위해 PI interface와 함께 설치/운영되는 기기로서, 다양한 데이터 소스 및 대량의 실시간 데이터를 분산 수집을 통해, 효과적이고 최적화된 데이터 처리 및 데이터 손실을 방지하고 서버의 부하를 감소시키는 역할을 한다.

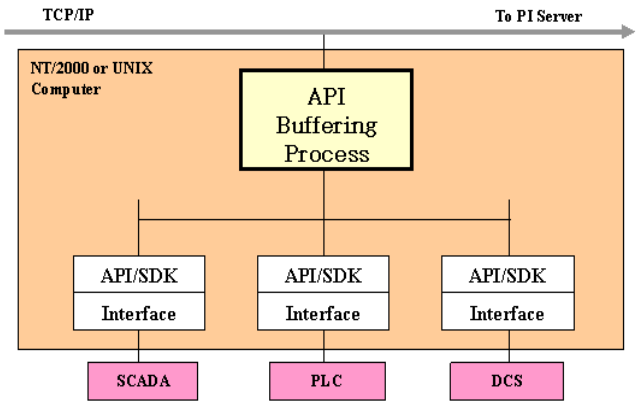

Fig. 3 Buffer Node Software

2.2.3 PI-Interface

시스템과 실시간 연계를 위한 표준화된 인터페이스 제품으로 즉시 사용이 가능한 패키지로 공급되어져 있으며, 태안화력에서는 ABB Procontrol-P14 DCS에 설치되는 POS 30을 추가하

여 연계하는 방안으로 PI-POS Interface를 사용하였다.

2.2.4 PI-Clients

Clients 제품은 기능과 사용 목적에 따라 윈도우 기반에서 운영되며, 네트워크(C/S) 및 인터넷 기반에서 운영된다.

3. 비교 항목 선정 및 비교 결과

3.1 기준 값 설정

3.1.1 설계 값과 인수성능 시험 값

설계 값은 제작 사에서 발전소 보일러 및 보조기기의 용량과 특성을 고려하여 선정한 값으로서 인수성능 시험 시 비교를 함으로써 건설된 보일러가 보증하는 성능을 확인하기 위해 사용되는 값이다. 한편, 인수성능시험 시에 취득된 값은 그 보일러만의 특성을 반영하므로 향후 측정되는 주기 성능시험이나 실시간 성능감시를 통하여 측정되는 값과 비교를 함으로써 성능의 열화 또는 변화를 감지하여 보일러의 건전성 확인에 이용된다. 따라서 설계 값은 기준 값이 될 수 있다.

그러나 설계 값은 그 측정 조건(대기 온도, 대기 압력, 연료 조건 등)이 정해져 있고 그 보일러만의 특성을 반영한 값이 아니므로 기준 값으로 적용하는데 한계가 있다.

이러한 점에서 설계 값 보다 인수성능 시험 값을 기준 값으로 적용하는 것이 더욱 타당하다고 판단된다.

3.1.2 출력 보정

설계 값과 인수성능 시험 값은 규정출력(정격의 1/4, 2/2, 3/4, 4/4)에서의 값이 있을 뿐 그 이외에 대한 값이 없다. 이는 출력이 연속적으로 변하는 실제 발전소에서 기준 값을 적용하는데 문제점으로 작용한다. 따라서 성능을 연속적으로 실시간으로 감시하는 시스템에서는 각 출력별 값을 기반으로 Curve Fitting을 통하여 현재 출력 값에 맞는 기준 값으로 보정할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 출력 별 4가지 인수성능 시험 값을 Curve Fitting한 값을 기준 값으로 설정한다.

3.2 비교 항목 선정

3.2.1 미연 손실

연료의 가연성 성분 중 일부가 노 내에서 완전 산화되지 못하는 경우 Ash Pit나 각종 Fly Ash Hopper에 포집된 refuse속에는 미연의 가연성물질이 포함되어 있는데 이러한 가연성물질이 가진 미 방출 열에너지가 곧 미연탄소손실이 된다. 미연탄소손실은 주로 고체연료를 사용하는 보일러에서 많이 발생되며 액체나 기체연료 보일러에서는 거의 발생치 않는다. 미연탄소손실은 연료의 성분, 연료중의 회분함량 및 연소설비와 화로의 설계에 따라 크게 변화되며 이 밖에 연료반응도, 노 내 체류시간, 노 내 가스온도 분포, 과잉 공기율, 석탄 분쇄도 등 각종 운전 조건에 따라서도 변화가 크다.

따라서 연료(유연탄)의 종류에 따른 연소 특성을 파악하기 위해 미연 손실을 비교할 필요가 있다.

3.2.2 건 배기가스 손실

보일러에서 연료의 연소로 인하여 발생된 연소생성물은 최종 열 회수설비인 공기예열기를 거친 후에도 상당한 열량을 보유한 상태로 굴뚝을 나가게 된다. 건배기란 연소생성물중 수분을 제외한 연소가스로서 이 가스의 최종출구온도가 보유하고 있는 총열량과 이것이 기준공기온도로 냉각되었을 경우 가지게 되는 열량과의 차가 건 배기가스 손실열량이다. 따라서 이 손실은 수분이 없으므로 순수한 현열손실로만 구성되며 손실의 크기는 주로 보일러출구에서의 연소가스온도와 연소가스 중량에 의하여 좌우된다.

미연 손실과 마찬가지로 연료 및 연소 특성을 가장 잘 나타내는 요소로서 이를 비교하면 보일러 운전(Operation) 특성을 파악하는데 중요한 요소가 된다.

3.2.3 연료 중 수분손실

액체연료나 기체연료에는 연료 중 수분이 거의 포함되어 있지 않으나 고체연료인 석탄은 그 종류에 따라서 광범위한 범위의 고정수분과 부착수분을 함유하고 있다. 이와 같이 연료중의 수분은 연소 전에는 액체상태로 존재하나 노 내에서 일을 하지 않은 채 열을 받아 가열, 증발된 상태로 습 배기가스가 되어 보일러를 떠나게 된다. 습 배기가스의 연료 중 수분에 의하여 발생된 수증

기의 열손실을 연료 중 수분손실이라 하며 증발잠열 및 보일러출구온도에서의 보유현열 모두 열손실이 된다.

연료 중 수분손실 역시 연료 성상이나 운송, 보관상의 특성을 나타내는 요소로서 비교, 검토할 필요가 있다.

3.2.4 연료 중 수소손실

연료중의 수소는 연소 시 산화되어 물이 되며 이것이 다시 연소열을 받아서 증발된 상태로 배기가스에 함유되어 보일러를 떠나게 된다. 연소 시 발생한 물은 증발잠열을 흡수하여 수증기가 되고 현열도 보유한 채 보일러를 떠나게 되므로 이것이 곧 손실이 되며 잠열과 현열을 모두 포함한다. 수소 1kg이 연소할 때 8.9365kg에 해당하는 물을 생성한다. 수소함량이 많은 탄화수소계열 연료를 사용하는 LNG, 중유전소 보일러에서는 이 손실이 효율에 가장 큰 영향을 미친다.

이 값 역시 연료(유연탄)의 탄수소비에 의해 연소특성과 손실을 잘 나타내는 요소로서 비교 검토가 필요하다.

3.2.5 연소공기 중 수분손실

대기 중의 공기에는 항상 일정량의 수분이 함유되어 있기 때문에 보일러 설계 시에도 기준습도를 기준으로 성능설계를 수행한다. 일반적인 설계조건은 외기온도 20℃, 대기압 1.0332kg/㎠a, 상대습도 75%이며 이때 건 공기 1kg에 포함되어 있는 수분함량은 0.013kg이다. 연소용 공기 중 수분은 보일러 내에서 연소에 아무런 기여도 하지 못한 채 보일러로부터 열을 흡수한 상태로 건배기와 함께 보일러를 떠나게 되는데 이 열량이 수분손실이 된다. 그러나 연소용 공기 중의 수분은 대기 중에 이미 수증기상태로 존재하여 수증기상태로 보일러를 떠나므로 현열만이 손실열량이 된다.

이 값은 연료의 특성과는 관계가 없지만 연소에 영향을 미치는 현재의 외기 조건을 나타내므로 비교 검토한다.

3.2.6 복사손실

복사손실은 방열손실이라고도 하며 보일러계통, 즉 보일러본체, 각종 duct, 미분기 등의 표면으로부터 복사, 대류, 전도에 의하여 대기로 방출되는 열손실을 의미한다. 복사열전달이 지배적이다. 복사손실은 실측에 의하여 산정하는 것이 바람직하나 보일러본체, 각종 duct, 미분기 등의 복잡한 모양으로 수학적 모델링이 힘들며 현장실측 또한 힘들므로 일반적으로 ABMA의 복사 선도를 이용하여 구한다. 본 시험에서도 복사손실은 별도 측정하지 않고 설계 값을 사용하였다.

복사 손실은 연료나 외기 조건이 아닌 보일러 그 자체의 특성을 나타내는 항목으로서 비교 검토할 필요가 있다.

3.3 비교 결과

열손실 (%)	기준값	현재값	차이
건배기가스손실	3.79	4.77	0.98
H2O in fuel손실	1.03	1.04	0.01
H2O in comb손실	3.55	3.61	0.06
H2O in air손실	0.07	0.10	0.03
미연손실	1.45	0.35	-1.09
복사손실	0.19	0.19	0.00
미측정손실	0.50	0.50	0.00
손실합계	10.57	10.56	-0.01
보일러 효율	89.43	89.44	0.01

Fig. 4 Comparison Result

결과를 보면 건배기 기준 값에 비해 가스 손실이 높은 반면 미연 손실이 상대적으로 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 과잉공기량이 기준 치보다 상대적으로 약간 높음을 의미하는 것이다. 그러나 이를 기반으로 임의로 과잉공기량을 무조건 낮추는 것만이 올바른 운전이라고 볼 수는 없다. 왜냐하면 과잉공기량을 낮출 경우 건배기 가스 손실은 감소하겠지만 미연 손실이 증가할 것이기 때문이다. 그 외에 그림(**Fig. 5** Performance of Air Pre-heater)에서 보는 바와 같이 현재의 운전 조건인 외기온도 및 대기압이 설계 기준(외기온도 20℃, 대기압 1.0332 kg/㎠a, 상대습도 75%)과 다른 이유도 있을 것으로 판단된다.

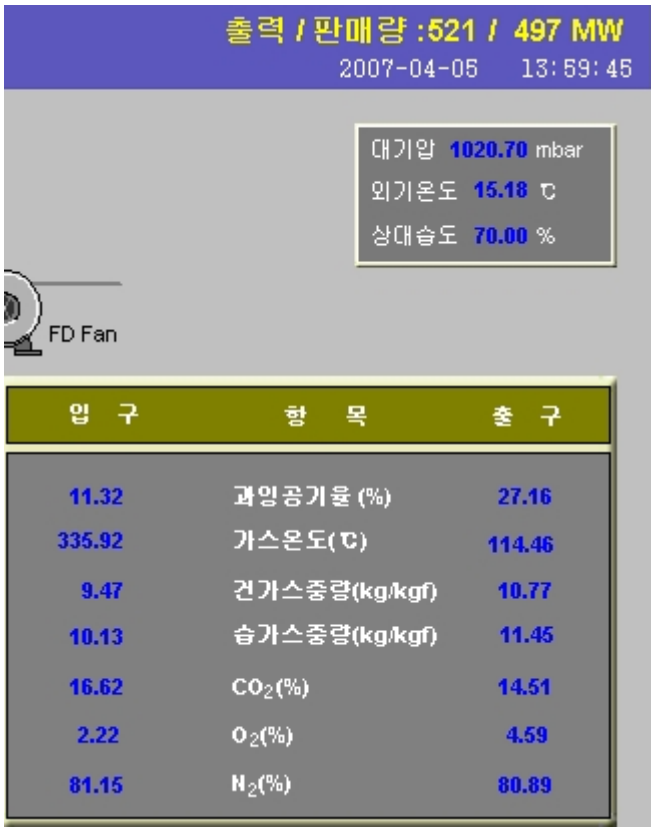

Fig. 5 Performance of Air Pre-Heater

4. 결 론

실시간 성능감시 시스템을 이용하여 화력발전소 보일러 운전 값에 대해 인수성능시험 값을 실시간으로 측정되어 계산되는 값과 비교하여 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

4.1 연료 변화에 따른 성능 변화관찰

이전에는 주요 보일러 성능 항목을 일일이 수동으로 계산하여야 했기 때문에 연료가 변경에 따른 효율이나 성능 항목에 대한 비교 검토가 불가능했으나 실시간 성능감시를 이용함으로써 각 항목에 대한 즉각적인 비교 검토가 가능하게 되었다.

4.2 조작 항목에 따른 성능 변화관찰

실시간 성능감시 시스템을 이용함으로써 조작 항목 별로 그것이 보일러 및 보조기기의 성능에 영향을 미치는 여부와 정도를 관찰할 수 있었다.

4.3 운전 조건 변화에 따른 성능변화 관찰

외기온도나 대기압과 같은 외부 환경 또는 특정 기기 운전 조건과 같은 내부 운전 제약에 의한 보일러의 성능과 효율 변화를 관찰할 수 있었다.

참고문헌

(1) Lim, S. K and Jung, H, 2006, "On-Line Performance Monitoring System for Fossil Power Plant", *Technical Report of KEPRI*, pp. 107-112.

(2) Kim, J. J, 2001, "Performance Improvement of Power Plant"

(3) "Steam Generating Units", *Power Test Code of the ASME*

(4) "Fundamentals of Power Plant Performance for Utility Engineers", *GP Courseware*