

화력발전에서 효율예측 정확성 향상을 위한 투입 열량 및 측정값 보정

Heating Value measurement Data Reconciliation for Improving the Accuracy of Power Generation Efficiency in Thermal Power Plant

(주)테크다스 고성근

요약

화력발전 플랜트에서 발전효율 계산의 정확성 향상을 위하여 계산 오차의 주요인인 투입 열량을 보정하는 연구를 수행하였다. 발열량 실험값 또는 유량 오차 보정을 위하여 데이터 보정(Data Reconciliation) 기술을 적용하였다. 화력발전 플랜트의 주요 설비를 중심으로 물질 수지와 열 수지를 수립하였으며, 물지 수지와 열 수지가 성립하는 조건하에서 측정값과 보정값의 차이가 최소가 되도록 비선형최적화 문제를 구성하였다. Generalized Reduced Gradient 2 기법을 적용하여 해를 구함으로써 데이터 보정을 실시하였다. 시뮬레이션 사례연구를 통해 발열량 오차를 효과적으로 보정함을 확인하였고, 실제 플랜트에 적용하여 발전효율의 변동이 작은 시계열 트렌드를 구할 수 있음을 통해 데이터 보정의 성능을 확인하였다. 이상의 결과로부터 발열량의 변화가 크거나 연료 유량의 오차가 큰 화력 발전플랜트의 발전효율을 모니터링하기 위해서는 투입 열량 보정을 위해 데이터 보정 기술이 필요함을 확인하였다.

Key words: Thermal Power Plant(화력발전), Power Generation Efficiency(발전효율), Data Reconciliation(데이터 보정), Heating Value(발열량), Efficiency Monitoring(효율 감시), Performance Monitoring System(성능감시시스템)

1. 서론

발전효율은 플랜트에 투입한 총 열량 대비 발전 출력의 비로 정의되는데, 발전효율을 정확하게 계산하기 위해서는 정확한 투입 열량의 측정이 기본적으로 요구된다. 그러나 연료 유량계와 발열량 분석기의 오차, 채취 시료의 편차, 긴 분석 주기 등으로 인해 정확한 투입 열량을 구하는데 한계가 있다.

화력발전은 발전 방식에 따라 여러 형태의 연료가 사용되는데, 석탄이나 폐자재, 팜 껍질 등과 같이 고체 연료의 경우에는 야적장에서 시료를 채취하고 이를 실험실에서 분석하여 발열량을 얻는다. 부생가스과 같이 타 공장으로부터 연료를 직접 공급받는 경우에는 연료공급 계통에 온라인 분석기를 설치하여 실시간으로 분석하거나, 온라인 분석기가 없을 때는 채취한 시료를 실험실에서 분석하여 얻는다.

연료의 종류와 부대 시설에 따라 차이가 있지만, 많은 경우에 시료 채취와 실험실 분석이 시간 간격을 두고 간헐적으로 이루어지기 때문에 시료 분석이 이루어지지 않는 대부분의 시간 동안에는 연료의 발열량 변화를 알지 못하는 문제가 있다. 게다가 온라인 분석기를 이용하여 실시간으로 발열량을 분석하는 경우에도 실제 연료의 투입 지점과는 멀리 떨어져 있는 곳에 설치되어 정확성이 결여되기도 하며, 근본적으로는 분석기 자체의 정확성에 한계가 있다.

상기와 같이 시료를 직접 분석하는 종래의 방식에서는 시시각각으로 변하는 연료의 발열량을 실시간으로 알지 못하기 때문에 가장 최근의 분석값을 기준으로 발열량을 가정하여 발전효율을 계산할 수밖에 없으며, 이 때 실제 투입한 연료의 발열량과 차이에 비례하여 발전효율 계산에서의 오차 발생은 불가피하다. 이러한 문제점 보완을 위해서 더욱 자주 시료 분석을 실시하거나 온라인 분석기를 설치하는 것이 필요하지만, 플랜트 운영에서 발생하는 현실적인 문제와 발열량 분석기의 기술적 한계로 인해 오차를 의미 있는 수준까

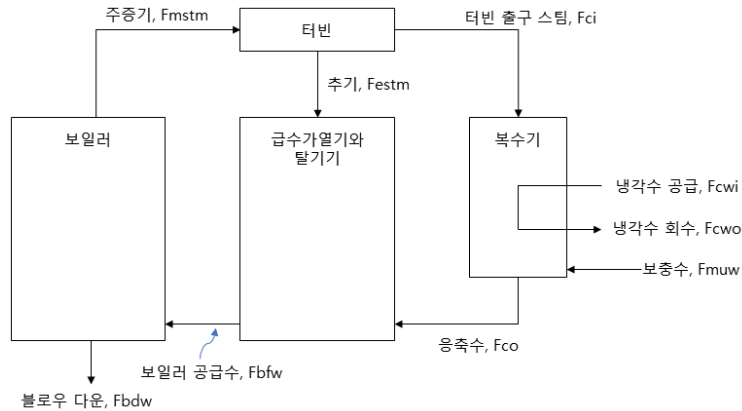
지 줄이는 데는 기존의 방식에는 한계가 있다.

본 연구는 시료를 직접 분석하는 종래의 방식에서 발생하는 문제점을 해소하기 위한 것으로 연료 발열량 오차를 실시간으로 제거하는 데에 목적이 있다. 이를 통해 결과적으로 발전효율을 정확하게 모니터링함으로써 발전효율 저하를 신속하게 감지하고 이를 적시에 해소하여 플랜트의 생산성을 향상하는 데 목적을 둔다. 석탄, 바이오메스, 가스를 연료로 하는 화력발전 플랜트의 발전효율을 정확하게 계산하는데 필요한 기술에 관한 것으로 발전량을 투입 열량(투입 연료의 유량과 발열량의 곱)으로 나누어 발전효율을 계산하는데, 이 식의 분모인 연료 발열량의 오차를 보정하는 기술이다.

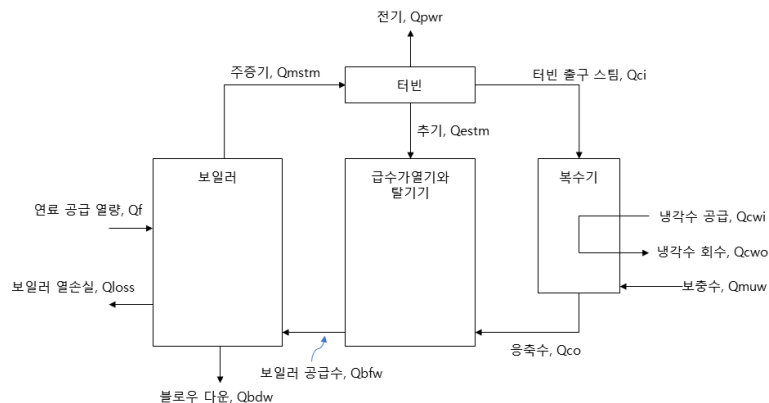
2. 본 론

투입 연료의 발열량 오차를 보정하기 위하여 플랜트에 설치되어 있는 계측기의 측정값 오차를 보정하기 위해 사용되는 데이터 보정(Data Reconciliation)기술을 적용하였다. 데이터 보정기술은 대상 플랜트의 물질 수지와 열 수지가 성립하는 조건에서 계측기가 갖는 오차의 통계적 특성에 기반하여 측정값과 보정값의 차이가 최소가 되도록 계측기의 오차를 보정하는 기술이다.

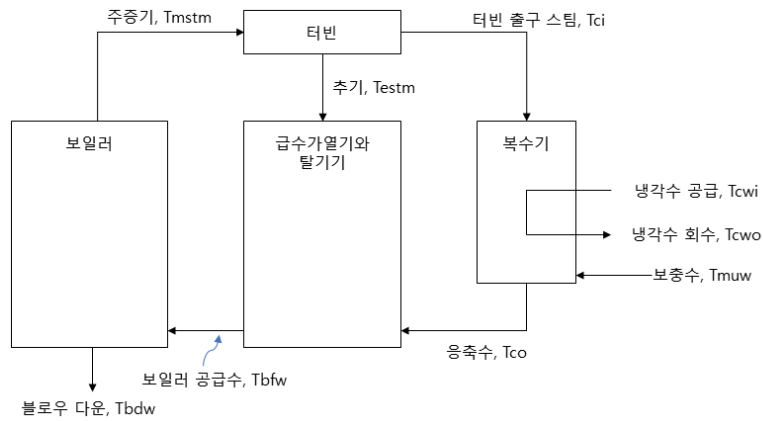
본 연구에서는 화력발전 플랜트에 설치되어 있는 유량계의 오차나 연료의 발열량 실험값 오차를 보정하는데 데이터 보정기술을 적용하였다. 데이터 보정기술에서 요구하는 물질수지는 [그림 1]에 표시된 설비들인 보일러, 급수가열기와 탈기, 터빈, 복수기를 중심으로 작성한 H₂O 물질 수지를 이용하였다. 그리고 열 수지는 [그림 2]에 표시된 설비들을 중심으로 작성한 것을 이용하였다. 이 때 [그림 3]의 온도 측정값과 [그림 4]의 압력 측정값을 이용하여 물이나 증기의 엔탈피를 계산하고, 이를 이용하여 [그림 2]의 열 수지를 작성하였다.



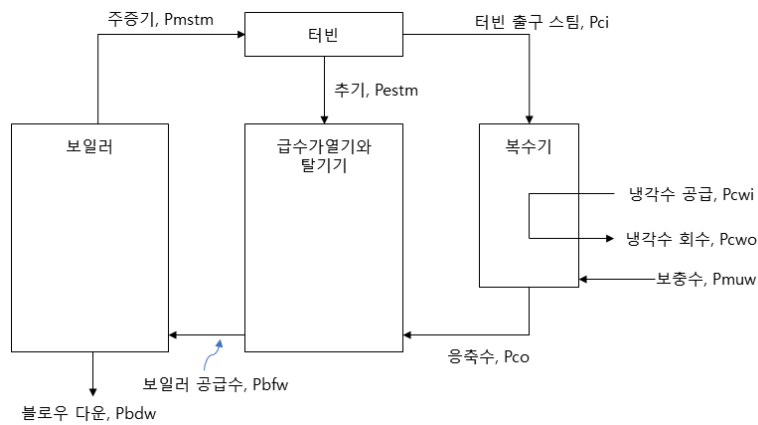
[그림 1] 발전플랜트 주요 설비와 H₂O 물질 흐름도



[그림 2] 발전플랜트 주요 설비와 열 흐름도



[그림 3] 발전플랜트 주요 설비와 온도 측정



[그림 4] 발전플랜트 주요 설비와 압력 측정

연료 발열량 실험값과 유량 측정값의 오차를 보정하기 위하여 위에서 작성한 H₂O 물질 수지와 열 수지가 만족하는 가운데 실험값과 측정값의 차이가 최소가 되도록 계산하는 최적화 문제는 다음의 수식으로 표현 가능하며, 최적화 기법을 적용하여 수치해석적으로 해를 구함으로써 보정값을 얻는다.

$$\text{Min } \sum [(F_{m_i} - F_{d_i}) / (W_i * F_{m_i})]^2 + [(LHV_m - LHV_d) / (W_{LHV} * LHV_m)]^2 \quad i=1 \text{ to } n \quad \text{식 (1)}$$

여기서 F_{m_i} 는 스트림 i 의 유량 측정값을, F_{d_i} 는 스트림 i 의 유량 측정값의 보정값을, W_i 는 스트림 i 의 오차 보정 비중인자를, n 은 [그림 1]에 표현된 유량 측정값의 총 개수를 의미한다. LHV는 저위발열량(Low Heating Value) 영문의 약자로 LHV_m 는 발열량 실험값을, LHV_d 는 발열량 보정값을 W_{LHV} 는 발열량 오차보정 비중인자를 의미한다.

물질 수지와 열 수지를 만족하는 가운데 목적함수 식(1)이 최소가 되도록 F_{d_i} 와 LHV_d 를 결정하는 최적화 문제가 성립한다. 각 설비 별로 작성한 물질 수지는 다음과 같다.

$$\text{M1; } F_{bfw} - F_{mstm} - F_{bdw} = 0 \quad \text{식 (2)}$$

$$\text{M2; } F_{mstm} - F_{estm} - F_{ci} = 0 \quad \text{식 (3)}$$

$$M3; F_{estm} + F_{co} - F_{bfw} = 0 \quad \text{식 (4)}$$

$$M4; F_{ci} + F_{muw} - F_{co} = 0 \quad \text{식 (5)}$$

M1 은 보일러, M2 는 터빈, M3 는 급수가열기와 탈기, M4 는 복수기를 기준으로 작성한 물의 물질 수지이다. 그리고 각 설비 별로 작성한 열 수지는 다음과 같다.

$$E1; Q_f + Q_{bfw} - Q_{mstm} - Q_{bdw} - Q_{loss} = 0 \quad \text{식 (6)}$$

$$E2; Q_{mstm} - Q_{pwr} - Q_{estm} - Q_{ci} = 0 \quad \text{식 (7)}$$

$$E3; Q_{estm} + Q_{co} - Q_{bfw} = 0 \quad \text{식 (8)}$$

$$E4; Q_{ci} + Q_{muw} + Q_{cwi} - Q_{co} - Q_{cwo} = 0 \quad \text{식 (9)}$$

E1 은 보일러, E2 는 터빈, E3 는 급수가열기와 탈기, E4 는 복수기를 기준으로 작성한 열 수지이다. 각 변수는 다음과 같이 계산한다.

$$Q_f = F_{fuel} * LHV$$

$$Q_{bfw} = F_{bfw} * H(T_{bfw}, P_{bfw})$$

$$Q_{mstm} = F_{mstm} * H(T_{mstm}, P_{mstm})$$

$$Q_{bdw} = F_{bdw} * H(T_{bdw}, P_{bdw})$$

$$Q_{mstm} = F_{mstm} * H(T_{mstm}, P_{mstm})$$

$$Q_{estm} = F_{estm} * H(T_{estm}, P_{estm})$$

$$Q_{ci} = F_{ci} * H(T_{ci}, P_{ci})$$

$$Q_{co} = F_{co} * H(T_{co}, P_{co})$$

$$Q_{bfw} = F_{bfw} * H(T_{bfw}, P_{bfw})$$

$$Q_{muw} = F_{muw} * H(T_{muw}, P_{muw})$$

여기서 Q_{pwr} 은 발전량이며, Q_{loss} 는 보일러 배기가스 열손실, 가열로 표면 복사열 손실, 투입 공기 중 수분의 잠열에 의한 손실, 불완전 연소 손실, 미연소 손실 등을 포함한 총 손실열량으로 투입 열량의 백분율로 주어진다. 이 값은 미국기계협회(ASME)의 PTC Code 에 수록된 방법으로 계산 가능하다. 여기서 $H(T_i, P_i)$ 는 T_i 온도와 P_i 압력에서의 엔탈피를 의미하며, H_2O 엔탈피 표를 통해 값을 구하거나, 이를 프로그래밍한 소프트웨어를 이용한다.

연료의 발열량 실험값 및 유량의 측정값과 이의 보정값과의 차이가 최소가 되도록 최적화 기법을 적용하여 수치해석적으로 답을 구한다. 본 연구에서는 비선형최적화 문제의 해법으로서 GRGII(Generalized Reduced Gradient II)를 적용하였다. 발열량 실험값의 보정값을 투입 연료의 유량에 곱한 값인 투입 열량에 대한 발전량의 비에 100 을 곱하여 발전효율을 백분율로 구한다.

- 사례연구 1

[표 1]에 정상적인 조업 상황인 기본값을 기준으로 임의적으로 발열량을 10% 크게 오차를 부여하고 데이터 보정기술을 적용하여 어느 정도 오차를 보정하여 기본값에 근사하는지 시뮬레이션 시험하였다. 정상적인 조업 상황인 기본값에서의 발전효율은 34.8%였으나, 오차를 갖는 발열량에서는 31.7%로서 기본값 대비 3.1% 작았다.

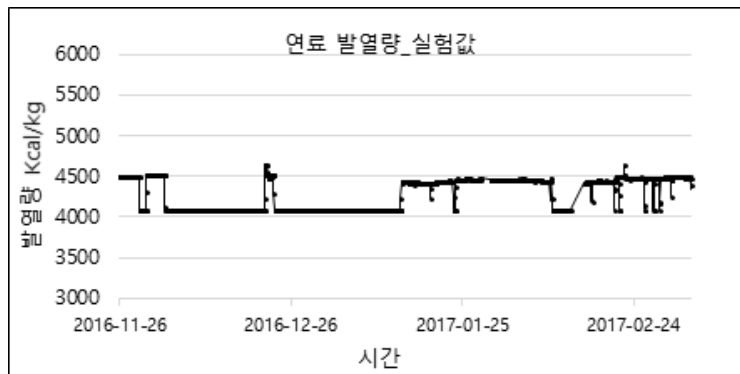
최적화 목적함수에서의 비중인자 W_i 와 W_{LHV} 는 동일한 수준의 오차를 갖는다고 가정하고 모두 1 의 값을 부여하였으며, 마이크로소프트사의 엑셀의 GRGII 를 이용하여 최적화를 실행하였다. 10% 큰 값의 발열량과 조업 데이터에 대해 데이터 보정기술을 적용하여 오차를 소거한 결과 [표 1]에서와 같이 기본값과 거의 유사한 결과를 얻었다. 데이터 보정기술을 적용 후의 발전효율은 34.7%로서 기본값에서의 34.8%와 0.1% 차이를 보였으며, 이는 오차 보정 전의 3.1% 오차를 거의 소거하였다.

- 사례연구 2

[표 2]에 정상적인 조업 상황인 기본값을 기준으로 임의적으로 발열량을 10% 작게 오차를 부여하고 데이터 보정기술을 적용하여 어느 정도 오차를 보정하여 기본값에 근사하는지 시뮬레이션 시험하였다. 정상적인 조업 상황인 기본값에서 발전효율은 34.8%였으나, 오차를 갖는 발열량에서는 38.7%로서 기본값 대비 3.9% 컸다.

최적화 목적함수에서의 비중인자 W_i 와 W_{LHV} 는 동일한 수준의 오차를 갖는다고 가정하고 모두 1 의 값을 부여하였으며, 마이크로소프트사의 엑셀의 GRGII 를 이용하여 최적화를 실행하였다. 10% 작은 값의 발열량과 조업 데이터에 대해 데이터 보정기술을 적용하여 오차를 소거한 결과 [표 2]에서와 같이 기본값과 거의 유사한 결과를 얻었다. 데이터 보정기술을 적용 후의 발전효율은 35.0%로서 기본값에서의 34.8%와 0.2% 차이를 보였으며, 이는 오차 보정 전의 3.9% 오차를 거의 소거하였다.

위의 두 사례연구를 통해 확인하였듯이 본 기술은 발열량 오차 보정에 매우 우수한 성능을 보였다. 발열량 보정 기술을 100MW 급 화력발전 플랜트에 적용한 결과를 제시하고자 한다. [그림 5]는 연료 발열량 실험값의 3 개월간 시계열 데이터를 트렌드로 나타낸 그림이다. 그림에서 발열량의 계단식 변화는 실험값으로 발열량이 갱신되어 나타난 결과이다. [그림 6]은 발열량에 연료 투입 유량을 곱한 투입 열량의 시계열 그래프이고, [그림 5]는 발열량의 시계열 그래프이다.



[그림 5] 연료 발열량 실험값 트렌드

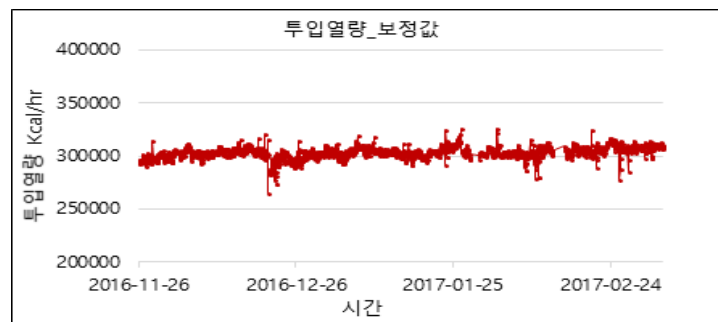


[그림 6] 연료 발열량 실험값을 이용한 투입 열량 트렌드

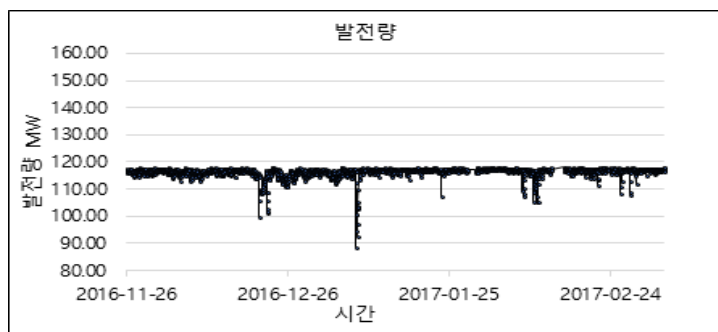
[그림 7]은 보정값의 시계열 트렌드로서 [그림 5]와는 다르게 발열량의 실시간적 변화를 보여준다. 발열량 보정값을 이용한 투입 열량 트렌드는 [그림 8]과 같으며, 변화 폭이 작아서 매우 안정적이다. 발전량이 [그림 9]에서와 같이 안정적이므로 투입 열량 또한 안정적이어야 하는데 이를 보여주었으나, 실험값을 기준으로 한 투입 열량은 변화 폭이 커서 안정적이지 못했다.



[그림 7] 연료 발열량 보정값 트렌드

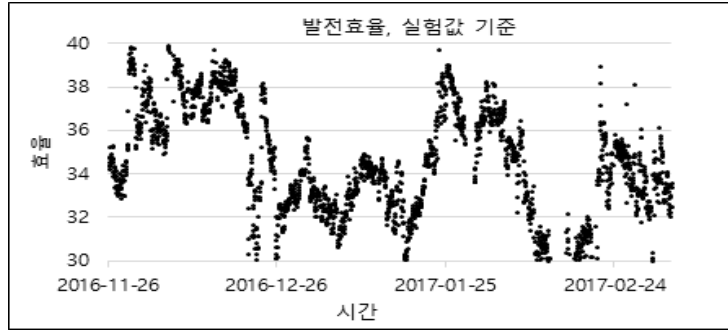


[그림 8] 연료 발열량 보정값을 이용한 투입 열량 트렌드

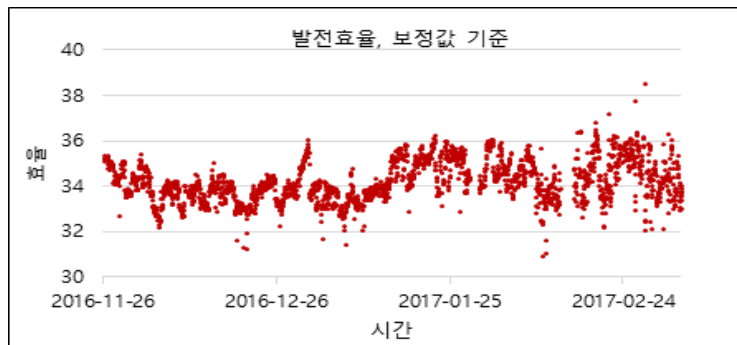


[그림 9] 발전량 측정값 트렌드

[그림 10]과 [그림 11]은 발열량 보정기술 적용 전 후의 발전효율의 시계열 트렌드이다. 보정값을 이용한 발전효율이 32 ~ 36% 사이에 분포되었듯이 일정 범위 내에서 안정적이던데 비하여, 보정을 하기 전의 실험값을 이용한 발전효율은 30 ~ 40%로서 변폭이 매우 컸으며, 발전플랜트의 특성상 비합리적인 발전효율 결과를 보였다.



[그림 10] 연료 발열량 실험값을 이용한 발전효율 트렌드



[그림 11] 연료 발열량 보정값을 이용한 발전효율 트렌드

3. 결론

화력발전 플랜트에서 발전효율 계산의 정확성 향상을 위하여 계산 오차의 주요인인 투입 열량을 보정하기 위하여 데이터 보정(Data Reconciliation)기술의 적용에 관한 연구를 실시하였으며, 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 임의적으로 발열량을 $\pm 10\%$ 오차를 부여하고 데이터 보정기술을 적용하는 사례연구를 통해 거의 대부분의 오차를 보정한 결과를 얻었으며, 데이터 보정기술이 투입 열량의 오차 보정에 매우 우수함을 확인하였다.

둘째, 100MW 급 실제 플랜트에 적용하여 발전효율의 변폭이 작은 시계열 트렌드를 구할 수 있었으며, 데이터 보정기술이 투입 열량의 오차 보정에 매우 우수함을 확인하였다.

이상의 결과로부터 화력발전 플랜트의 발전효율을 정확하게 모니터링 하는데 본 발명에서 제시하는 연료의 발열량 실험값의 오차 보정기술이 필요함을 확인하였다.

[표 1] 사례연구 1: 발열량 +10% 오차 사례에 대한 데이터 보정기술 적용 결과

스트림	변수	단위	태그	기본값 ①	발열량 110%	보정값 ②	차이 ①-②
연료	유량	톤/시간	Ff	38.54	38.54	38.54	0
	발열량	메가줄/톤		18209.1	20030.0	18253.8	-44.7
	총 열량	메가와트	Qf	194.9	214.4	195.4	-0.5
보일러열손실	비율	%		12	12	12	0
	총 열량	메가와트	Qloss	23.4	25.7	23.5	-0.1
발전량	전기	메가와트	Qpwr	67.9	67.9	67.9	0.0
보일러 피드	유량	톤/시간	Fbfw	250.0	250.0	249.8	0.2
	온도	°C	Tbfw	225.3	225.3	225.3	0.0
	압력	bar	Pbfw	150.0	150.0	150.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		971.4	971.4	971.4	0.0
	총 열량	메가와트	Qbfw	67.5	67.5	67.4	0.0
블로우다운	유량	톤/시간	Fbdw	0.0	0.0	0.0	0.0
	온도	°C	Tbdw	105.0	105.0	105.0	0.0
	압력	bar	Pbdw	12.0	12.0	12.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		441.0	441.0	441.0	0.0
	총 열량	메가와트	Qbdw	0.0	0.0	0.0	0.0
주증기	유량	톤/시간	Fmstm	250.0	250.0	250.1	-0.1
	온도	°C	Tmstm	538.0	538.0	538.0	0.0
	압력	bar	Pmstm	128.2	128.2	128.2	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		3444.5	3444.5	3444.5	0.0
	총 열량	메가와트	Qmstm	239.2	239.2	239.3	-0.1
터빈출구 스팀	유량	톤/시간	Fci	181.0	181.0	181.5	-0.5
	온도	°C	Tci	43.1	43.1	43.1	0.0
	압력	bar	Pci	0.1	0.1	0.1	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		2243.7	2243.7	2243.7	0.0
	총 열량	메가와트	Qci	112.8	112.8	113.1	-0.3
추기	유량	톤/시간	Festm	69.0	69.0	68.9	0.1
	온도	°C	Testm	308.0	308.0	308.0	0.0
	압력	bar	Pestm	20.0	20.0	20.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		3043.8	3043.8	3043.8	0.0
	총 열량	메가와트	Qestm	58.3	58.3	58.3	0.1
냉각수 공급	유량	톤/시간	Fcwi	20000.0	20000.0	20056.5	-56.5
	온도	°C	Tcwi	20.0	20.0	20.0	0.0
	압력	bar	Pcwi	1.5	1.5	1.5	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		84.1	84.1	84.1	0.0
	총 열량	메가와트	Qcwi	467.0	467.0	468.3	-1.3
냉각수 회수	유량	톤/시간	Fcwo	20000.0	20000.0	20056.5	-56.5
	온도	°C	Tcwo	24.5	24.5	24.5	0.0
	압력	bar	Pcwo	1.5	1.5	1.5	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		102.7	102.7	102.7	0.0

	총 열량	메가와트	Qcwo	570.7	570.7	572.3	-1.6
응축수	유량	톤/시간	Fco	181.0	181.0	181.2	-0.2
	온도	°C	Tco	43.1	43.1	43.1	0.0
	압력	bar	Pco	15.0	15.0	15.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		181.8	181.8	181.8	0.0
	총 열량	메가와트	Qco	9.1	9.1	9.2	0.0
보충수	유량	톤/시간	Fco	0.0	0.0	0.0	0.0
	온도	°C	Tco	15.0	15.0	15.0	0.0
	압력	bar	Pco	1.0	1.0	1.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		63.1	63.1	63.1	0.0
	총 열량	메가와트	Qco	0.0	0.0	0.0	0.0
효율		%		34.8	31.7	34.7	0.1

[표 2] 사례연구 2: 발열량 -10% 오차 사례에 대한 데이터 보정기술 적용 결과

스트림	변수	단위	태그	기본값 ①	발열량 110%	보정값 ②	차이 ①-②
연료	유량	톤/시간	Ff	38.54	38.54	38.54	0
	발열량	메가줄/톤		18209.1	16388.2	18122.5	86.6
	총 열량	메가와트	Qf	194.9	175.4	194.0	0.9
보일러열손실	비율	%		12	12	12	0
	총 열량	메가와트	Qloss	23.4	21.1	23.3	0.1
발전량	전기	메가와트	Qpwr	67.9	67.9	67.9	0.0
보일러 피드	유량	톤/시간	Fbfw	250.0	250.0	249.0	1.0
	온도	°C	Tbfw	225.3	225.3	225.3	0.0
	압력	bar	Pbfw	150.0	150.0	150.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		971.4	971.4	971.4	0.0
	총 열량	메가와트	Qbfw	67.5	67.5	67.2	0.3
블로우다운	유량	톤/시간	Fbdw	0.0	0.0	0.0	0.0
	온도	°C	Tbdw	105.0	105.0	105.0	0.0
	압력	bar	Pbdw	12.0	12.0	12.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		441.0	441.0	441.0	0.0
	총 열량	메가와트	Qbdw	0.0	0.0	0.0	0.0
주증기	유량	톤/시간	Fmstm	250.0	250.0	248.6	1.4
	온도	°C	Tmstm	538.0	538.0	538.0	0.0
	압력	bar	Pmstm	128.2	128.2	128.2	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		3444.5	3444.5	3444.5	0.0
	총 열량	메가와트	Qmstm	239.2	239.2	237.9	1.3
터빈출구 스팀	유량	톤/시간	Fci	181.0	181.0	179.7	1.3
	온도	°C	Tci	43.1	43.1	43.1	0.0
	압력	bar	Pci	0.1	0.1	0.1	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		2243.7	2243.7	2243.7	0.0
	총 열량	메가와트	Qci	112.8	112.8	112.0	0.8
추기	유량	톤/시간	Festm	69.0	69.0	68.7	0.3

	온도	°C	Testm	308.0	308.0	308.0	0.0
	압력	bar	Pestm	20.0	20.0	20.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		3043.8	3043.8	3043.8	0.0
	총 열량	메가와트	Qestm	58.3	58.3	58.0	0.3
냉각수 공급	유량	톤/시간	Fcwi	20000.0	20000.0	19847.0	153.0
	온도	°C	Tcwi	20.0	20.0	20.0	0.0
	압력	bar	Pcwi	1.5	1.5	1.5	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		84.1	84.1	84.1	0.0
	총 열량	메가와트	Qcwi	467.0	467.0	463.4	3.6
냉각수 회수	유량	톤/시간	Fcwo	20000.0	20000.0	19847.0	153.0
	온도	°C	Tcwo	24.5	24.5	24.5	0.0
	압력	bar	Pcwo	1.5	1.5	1.5	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		102.7	102.7	102.7	0.0
	총 열량	메가와트	Qcwo	570.7	570.7	566.3	4.4
응축수	유량	톤/시간	Fco	181.0	181.0	180.0	1.0
	온도	°C	Tco	43.1	43.1	43.1	0.0
	압력	bar	Pco	15.0	15.0	15.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		181.8	181.8	181.8	0.0
	총 열량	메가와트	Qco	9.1	9.1	9.1	0.1
보충수	유량	톤/시간	Fco	0.0	0.0	0.0	0.0
	온도	°C	Tco	15.0	15.0	15.0	0.0
	압력	bar	Pco	1.0	1.0	1.0	0.0
	단위 열량	메가줄/톤		63.1	63.1	63.1	0.0
	총 열량	메가와트	Qco	0.0	0.0	0.0	0.0
효율		%		34.8	38.7	35.0	-0.2