

터빈 사이클 열소비율 정확도 추정 모델

최기상[†]·김성근*·최광희**

Uncertainty Estimation Model for Heat Rate of Turbine Cycle

Ki-Sang Choi, Seong-Kun Kim and Kwang-Hee Choi

Key Words: Heat Rate(열소비율), Uncertainty Estimation Model(불확실도 평가 모듈)
Correlation Analysis(상관관계)

Abstract

Heat rate is a representative index to estimate the performance of turbine cycle in nuclear power plant. Accuracy of heat rate calculation is dependent on the accuracy of measurement for plant status variables. Uncertainty of heat rate can be modeled using uncertainty propagation model. We developed practical estimation model of heat rate uncertainty using the propagation and regression model. The uncertainty model is used in the performance analysis system developed for the operating nuclear power plant.

기호설명

Hg	: 증기발생기 출구 엔탈피(습분0%)
Hf	: 증기발생기 출구 엔탈피(습분100%)
f()	: 증기표 함수
MSsg_o	: 증기발생기 출구 습분
PWsg_i	: 증기발생기 유입 급수 압력
TWsg_i	: 증기발생기 유입 급수 온도
M1	: 주증기유량
KWgn_o	: 전기 출력
plant_load	: 터빈 사이클 내 소비 전력량
r	: 피어슨 상관계수
α	: Cronbach's alpha

1. 서론

본 연구는 영광 원자력 발전소 3, 4호기를 바탕으로 원전 운전 상태를 효율적으로 관리 할 수

있는 PERUPS^(5,6)(Performance Upgrade System for Nuclear Power Plant)을 개발하는 과정에서 열소비율의 오차 분석의 필요성이 제시 되어 영광 원자력 발전소 3, 4 모델을 통해 열소비율 오차 모델을 개발 하였다.

본 연구에서는 열소비율의 오차율을 산출하기 위해 영광 3호기의 19세트 1019개의 항목에 대해 통계분석을 통해 열소비율의 추정치와 오차율을 산출 하였다. 또한 분석된 열소비율 오차율에 이상이 있다고 판정될 경우 비교 분석을 할 수 있는 모델을 개발 하였다.

2. 열소비율 계산 방법

2.1 개요

터빈 사이클의 성능을 표현하는 방법에는 터빈 사이클을 구성하는 기기들이 밀접하게 연결되어 운전됨으로서 나타나는 종합적 성능인 터빈 사이클의 열소비율이 있다.

터빈 사이클 성능 계산은 발전기 출력과 증기발생기 열 출력만으로 열소비율을 산출하는 단순한 계산이 아니라 터빈 사이클 열평형 계산에 의

† 호서대 대학원 기계공학과

* 교신저자 호서대 기계설계전공

E-mail : kimskun@office.hoseo.ac.kr

TEL: (041)540-5811 FAX : (041)540-5818

** 한국 전력 연구원

하여 사이클 구성기기들을 연결해주는 작동 유체들의 상태량을 모든 지점에 대하여 결정하고, 그 결과로서 결정되는 증기 발생기 열 출력과 발전기 출력으로부터 열소비율을 구하는 복잡한 과정을 거치게 된다.^(4,5,6)

2.2 터빈 사이클 열소비율

위에서 제시한 봐와 같이 열소비율은 터빈 사이클의 성능을 나타내는 중요 성능 관련 변수로서 일반적으로 열소비율은 「터빈 사이클이 외부로 행한 일량」을 「터빈 사이클이 외부로부터 받은 열량」으로 나눈 것이 된다.

$$\text{터빈사이클열소비율 (Btu/Kwh)} = \frac{\text{터빈사이클입열 (Btu/h)}}{\text{터빈사이클출력 (Kw)}}$$

일반적으로 효율은 퍼센트로 표현하기 때문에 터빈 사이클의 성능에 대한 기본 감각이 없어도 의미를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있으나, 성능을 세부적으로 표현하는데 어려움이 있다. 반면에 열소비율은 1 Kwh의 전력을 생산하기 위해 소비된 열량을 나타내는 성능 변수로 숫자에 제한이 없어 터빈 사이클 성능을 세부적으로 파악하는데 유리하다.

효율로부터 다음과 같은 변환식을 사용하여 효율에 상당하는 열소비율을 산출 할 수 있다.

$$\text{터빈사이클열소비율 (Btu/Kwh)} = \frac{\text{일의열당량 (Btu/Kwh)}}{\text{터빈사이클효율 (\%/100)}}$$

터빈 사이클 열소비율은 사이클 내 동력 소비를 감안한 순 열소비율과 사이클 내 동력 소비를 감안하지 않은 총 열소비율로 나타 낼 수 있다.

2.2.1 총 열소비율(Gross Heat Rate)

사이클 내부적으로 소비된 전력량을 고려하지 않은 발전기 총 출력에 대해서 산출 한 것이다. 총 열소비율을 구하는 절차는 다음과 같다.

- 총 열소비율 (Gross Heat Rate)
 - 증기 발생기 출구 엔탈피 (Hstm)

$$H_g = f(\text{PSsg})$$

$$H_f = f(\text{PSsg})$$

$$H_{stm} = H_f + (100 - \text{MSsg}_o) / 100 * (H_g - H_f)$$
 - 증기 발생기 유입 급수 엔탈피 (HWsg_i)

$$H_{Wsg_i} = f(\text{PWsg}_i, \text{TWsg}_i)$$

※ 총 열소비율 (GHR)

$$\text{GHR} = M1 \times (H_{stm} - H_{Wsg_i}) / K_{Wgn_o}$$

2.2.2 순 열소비율(Net Heat Rate)

터빈 사이클 내부적으로 소비된 전력량을 발전기 출력에 감함으로서 순수한 터빈 사이클 출력에 대하여 열소비율을 산출한 것이다.

$$\text{NHR} = M1 \times (H_{stm} - H_{Wsg_i}) / (K_{Wgn_o} - \text{plant_load})$$

3. 열소비율 추정 모듈의 비교

열소비율 추정 모듈은 기존의 ASME PTC^(7,8)에 의한 방법과 현재 영광 원자력 발전소 3호기의 데이터를 분석하여 본 연구에서 개발한 모듈에 의한 방법으로 나누어진다.

3.1 ASME PTC에 의한 열소비율 추정 모듈

기존 성능 분석 프로그램에서는 ASME PTC에 의한 방법을 사용 열소비율 추정 하였다. 운전성능 계산 결과의 단계를 기기 대표 변수와 열소비율의 2단계로 구분되어 있고 여기에서 구성되는 불확실성 정보의 전과 과정을 통해 입력 계측기 정확도가 계산 전과 과정을 거쳐서 기기 대표 변수의 불확실성 값과 열소비율의 불확실성 값을 결정하는 과정으로 구성되어 있다. 전체적인 계산 절차는 다음 Fig. 1에서 보여 진다.

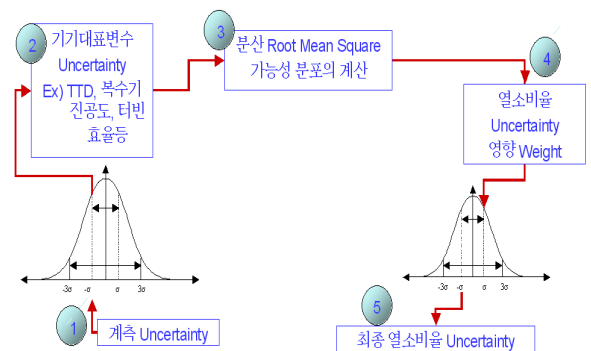


Fig. 1. Uncertainty transmission procedure

계측기 불확실도의 계산, 영향도의 계산 단계는 ASME PTC 19와 ASME의 계측기 불확실도 평가 가이드를 기준으로 작성되며, 열소비율 모델식을 기반으로 한 열소비율 불확실도 계산 모델은 다음식과 같으며 여기서 불확실도 영향 인

자는 민감도 계산을 사용하여 구해지며 사용자 입력 항목에 이 인자를 곱해 각 항목 영향도를 구하고 제곱 루트에 의해 최종 불확실도를 구하는 방법으로 구성되어 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta HR_{cr}}{HR_{cr}} = & \left[\frac{W_{T_1} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial P_1} \right)_{T_1}}{DENOM} \right] \frac{\Delta P_1}{P_1} + \left[\frac{W_{T_{11}} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial T_{11}} \right)_{T_{11}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta T_{11}}{T_{11}} - \left[\frac{W_{T_{11}} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial P_{11}} \right)_{T_{11}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta P_{11}}{P_{11}} \\ & - \left[\frac{W_{T_{11}} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial T_{11}} \right)_{P_{11}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta T_{11}}{T_{11}} + \left[\frac{(H_{T_{11}} - H_{11}) W_{T_{11}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta W_{T_{11}}}{W_{T_{11}}} \\ & + \left[\frac{W_{HRH} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial P_{HRH}} \right)_{T_{HRH}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta P_{HRH}}{P_{HRH}} + \left[\frac{W_{HRH} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial T_{HRH}} \right)_{T_{HRH}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta T_{HRH}}{T_{HRH}} \\ & - \left[\frac{W_{HRH} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial P_{CRH}} \right)_{T_{CRH}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta P_{CRH}}{P_{CRH}} - \left[\frac{W_{HRH} \left(\frac{\partial HR_{cr}}{\partial T_{CRH}} \right)_{T_{CRH}}}{DENOM} \right] \frac{\Delta T_{CRH}}{T_{CRH}} \\ & + \left[\frac{(H_{HRH} - H_{CRH}) W_{HRH}}{DENOM} \right] \frac{\Delta W_{HRH}}{W_{HRH}} - \frac{\Delta P_g}{P_g} \\ & - \left[\frac{\Delta CF_{p1}/CF_{p1}}{\Delta P_1/P_1} \right] \frac{\Delta P_1}{P_1} - \left[\frac{\Delta CF_{T1}/CF_{T1}}{\Delta T_1/T_1} \right] \frac{\Delta T_1}{T_1} \\ & - \left[\frac{\Delta CF_{p11}/CF_{p11}}{\Delta P_{11}/P_{11}} \right] \frac{\Delta P_{11}}{P_{11}} - \left[\frac{\Delta CF_{T_{11}}/CF_{T_{11}}}{\Delta T_{11}/T_{11}} \right] \frac{\Delta T_{11}}{T_{11}} \\ & - \left[\frac{(\Delta CF_{HRH})/CF_{HRH}}{\Delta P_{HRH}/P_{HRH}} \right] \frac{\Delta P_{HRH}}{P_{HRH}} - \left[\frac{(\Delta CF_{T_{HRH}})/CF_{T_{HRH}}}{\Delta T_{HRH}/T_{HRH}} \right] \frac{\Delta T_{HRH}}{T_{HRH}} \\ & - \left[\frac{(\Delta CF_{CRH})/CF_{CRH}}{\Delta P_{CRH}/P_{CRH}} \right] \frac{\Delta P_{CRH}}{P_{CRH}} - \left[\frac{(\Delta CF_{T_{CRH}})/CF_{T_{CRH}}}{\Delta T_{CRH}/T_{CRH}} \right] \frac{\Delta T_{CRH}}{P_{CRH}} \end{aligned}$$

3.2 본 연구에서의 열소비율 추정 방법

본 연구에서는 열소비율 오차율을 분석하기 위하여 실제 원자력 발전소 운전 중 취득된 상태량으로 구성된 데이터 세트 19개를 이용 다음과 같은 순서도에 의해 계산 하였다.

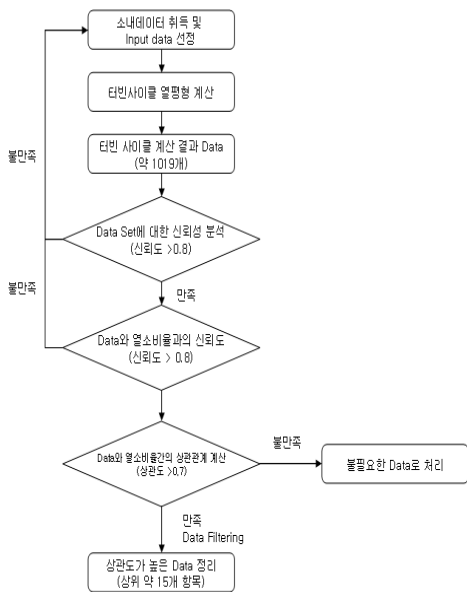


Fig 2. Heat rate estimation flowchart (1)

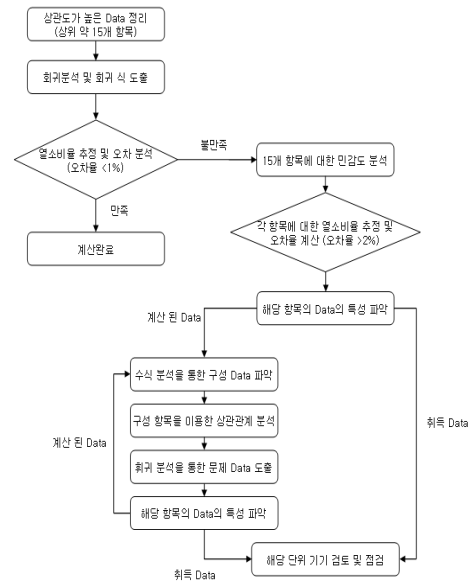


Fig 3. Heat rate estimation flowchart (2)

본 연구에서는 터빈 사이클 계산을 선행 후 각 단위기기 중요 부분의 상태량을 포함한 데이터 1019개 항목에 대하여 분석 하였다.

열소비율에 이상이 있다 판단되었을 경우 민감도 분석을 통한 오류 항목을 제시함으로써 보다 정밀한 분석을 할 수 있는 모듈을 개발 하였다.

4. 열소비율 추정 및 분석

4.1 통계 데이터 수집 및 신뢰성 분석

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 영광 원자력 발전소 3호기에서 측정된 데이터 19 세트 (2003.12 ~ 2004.6)를 이용 하여 통계 자료를 구성 하였다.

이 자료들은 동일한 터빈 사이클 열평형 계산 방식에 의해 계산되었고, 계산에 필요한 데이터 항목과 계산결과를 표현하는 데이터 항목 등 총 3961개의 데이터로 구성되어 있다. 이 3961개의 항목 중 열소비율 계산과 관련이 적은 단위기기 성능 분석용 데이터 항목과 항상 일정한 데이터 값을 같은 발전소 내 설계 값에 대한 데이터를 제외한 원전 소내 데이터베이스에서 취득한 데이터 237개와 이를 바탕으로 열평형 계산한 계산결과 값인 782개의 데이터, 총 1019개의 데이터를 이용하여 통계자료를 구성하였다.

데이터 세트를 이루고 있는 1019개의 데이터와

열소비율(GHR)과의 신뢰성을 분석하여 통계자료를 구성한지 적합 한지 판단하기 위해서 피어슨 상관계수에 의한 상관 계수 분석^(1,3)과 Cronbach's alpha 값에 의한 신뢰성 분석^(1,3)을 실행 하였고 산출 식은 다음과 같다.

- 피어슨 상관 계수

$$r = \frac{\sum [(Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})]}{\sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 \sum (X_i - \bar{X})^2}}$$

- Cronbach's alpha

$$\alpha = \frac{k \cdot w}{(1 + (k-1)w)}$$

앞에서와 같은 방법으로 1019개의 데이터에 대한 상관계수를 구하는 Cronbach's alpha 값을 구한 결과는 다음과 같다.

Table 1. Reliability analysis result

항목수(k)	1019개
상관계수 평균(w)	0.090373
Cronbach's alpha	0.990219

Table 1.에서 보여지는 바와 같이 Cronbach's alpha의 값이 0.9이상으로 매우 좋은 신뢰도를 나타내고 있다.

지금 까지 제시한 두 가지 신뢰성 분석을 통하여 1019개의 데이터로 구성된 19개의 데이터 세트가 열소비율의 오차율 분석을 위한 통계자료로 사용하기에 적합함을 알 수 있다.

4.2 상관 계수에 따른 자료 분석

통계 자료 분석을 위해 앞에서 언급한 총 1019개 데이터에 대한 상관계수를 계산하였다. 상관 계수 계산 방법은 피어슨 상관계수 방법에 의하여 계산하였다.

상관계수는 1~0 사이의 숫자로 표현하며 상관 계수의 값이 1이면 아주 높은 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 일반적으로 상관계수가 0.7이상인 항목에 관하여 높은 상관관계가 있다고 볼 수 있으므로, 분석된 통계 자료에서 0.7이상의 상관 계수 변수를 정리하면 100개의 항목으로 정리 할 수 있으며, 이 항목 중 터빈 사이클 계산 방법상 열 소비율 계산이 선행되어야만 결과를 계산 할 수 있는 항목에 대한 상관 계수는 배제 하겠다. GHRcy_c는 열소비율을 보정 한 항목으로 상관 계수 항목에서 제외 대상이 된다. EFcy, EFcy_c는 각각 터빈 사이클 효율과 터빈 사이클 효율 보정

값으로 터빈 사이클 열평형 계산에서 효율은 열 소비율에 의해 계산 되므로 제외하겠다.

다음으로 고려해야 하는 항목으로는 상관 계수에 대한 검토에서 삭제해야할 항목이다. PERUPS의 적용에서 중복 측정된 항목들을 제외하였고, 또한 터빈 사이클 열평형 계산 로직을 분석한 결과 심볼 차이는 있지만 같은 상대량을 갖는 변수가 존재함이 파악이 되었고 그 항목에 대하여 제외하여야 한다.

또한 원전 소내에서 취득되는 데이터 심볼은 각 단위 기기별 트레인으로 구분 되어 있는 반면에 터빈 사이클 열평형 계산에 사용되는 심볼은 단일 트레인으로 가정 하여 계산하게 되어 있다. 따라서 두 가지 심볼에 대해 검증된 대응 관계를 가지고 있다. 따라서 하나에 열평형 계산에 대응하는 소내 심볼은 상황에 따라 1~8개의 심볼과 연결이 되어 있고 이중에서 1:1 관계에 있는 심볼은 같은 상관 계수 결과를 보임으로 하나의 항목에 대해 제외하였다.

최초 상관계수가 0.7 이상인 항목 100개의 항목 중에 위에 제시한 조건의 항목을 제외하고 상위 15개 항목에 대하여 정리 하면 다음과 같다.

Table 2. Correlation Analysis result

Symbol	Description	상관계수
KWgn_o	Generator Power Output	-0.88854
HSI2_i	LP2 FWH Inlet Steam Enthalpy	-0.85476
HSI3_i	LP3 FWH Inlet Steam Enthalpy	-0.85439
MRE5_lt	LP TBN #5 Extraction Stage MRE	0.851984
PWip_i	BTP Inlet Feedwater Pressure	-0.85084
HSI1_i	LP1 FWH Inlet Steam Enthalpy	-0.85059
MRE4_lt	LP TBN #4 Extraction Stage MRE	0.838313
HDI1_o	LP1 FWH Outlet Drain Enthalpy	0.833604
TDI1_o	LP1 FWH Outlet Drain Temp.	0.833591
Qmc_o	Main Condenses Outlet Heat	0.823973
CDPXPEX	LP TURBINE EXHAUST PRESS	0.82395
TWI1_i	LP1 FWH Inlet Condensate Temp.	0.817913
HWI1_i	LP1 FWH Inlet Condensate Enthalpy	0.817887
TWae_o	SJAE Outlet Condensate Temp.	0.817743
HWae_o	SJAE Outlet Condensate Enthalpy	0.817716

4.3 민감도 분석에 의한 열소비율 계산

민감도 분석은 앞에서 계산된 상관계수를 바탕으로 관계가 높은 15개의 항목에 관하여 민감도를 분석하였다.

민감도 분석을 위해 상관도가 높은 변수의 데이터를 x 값으로 구성하고, 열소비율의 데이터를 y 값으로 구성한 후 최소 자승법(least squares)에 의해 선형 방정식을 구하였다. 최소 자승법 식을 a, b관하여 정리하면 다음과 같다.

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{\sum y_j - b \sum x_j}{n}$$

으로 정리된다. 여기서 n는 데이터 개수이고 위에서 구한 값을 이용하여 $y = a + by$ 의 기본 구조의 방정식을 구할 수 있다.

상관관계가 높은 항목에 대한 a, b 값은 다음과 같다.

Table 3. Sensitivity analysis result

SYMBOL	b	a	최대 오차율
KWgn_o	-0.011148	20885.209	0.188653
HSI2_i	-0.686828	10059.405	0.27869
HSI3_i	-0.703854	10110.995	0.278603
MRE5_lt	18.895717	9187.8951	0.27106
PWip_i	-92.53409	16217.555	0.235156
HSI1_i	-1.101841	10203.188	0.271215
MRE4_lt	100.9704	8780.9042	0.276056
HD11_o	6.8358797	8765.9653	0.286496
TD11_o	6.8232468	8548.5236	0.286517
Qmc_o	6.393E-07	8991.8943	0.276823
CDPXPEX	237.3323	9113.1631	0.271379
TW11_i	4.6974524	8842.0234	0.295215
HW11_i	4.7175963	8984.5003	0.295044
TWae_o	4.6968059	8847.0975	0.295215
HWae_o	4.7169835	8989.5527	0.295044

위 데이터는 터빈 사이클 열평형 데이터에 어떠한 특정 변수와 열소비율간의 비교 분석에 용이하게 사용 할 수 있다.

4.4 선형 회귀 분석에 의한 열소비율

오차율 계산

열소비율 오차를 계산하기 위하여 앞에서 제시한 민감도 분석에 의한 분석이외에 선형 회귀 분석을 통하여 열소비율 추정치를 계산하였다.

일반적으로 하나의 독립 변수를 갖는 회귀 분석을 단순 회귀 분석이라 하며 본 연구와 같이 하나의 종속 변수에 여러 개에 독립변수가 있을 경우를 다중 회귀 분석이라 한다. 다중 회귀 분석에서 여러 개에 독립변수가 종속 변수를 표현하는 회귀 식은 다음과 같다.

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$$

본 연구에서는 열소비율(GHR)을 종속변수로 하고 상관도가 높은 순으로 5개의 항목을 독립 변수로 선정하였다.

그 결과는 다음과 같다.

Table 4. list of independent variable

항목	계수
Y 절편	12501.99
KWgn_o	-0.00097
HSI2_i	-27.1182
HSI3_i	27.76378
MRE5_lt	8.7469
PWip_i	-56.7068

위 결과를 이용하여 회귀식을 구성 한 후 각 데이터 세트의 열소비율을 예측하여 오차율을 구해 보면 다음과 같다.

Table 5. Regression Analysis result

데이터 Set 날짜	예측 값	실측 값	오차율
2003120416	9235.739	9242.406	0.072143083
2003121613	9219.898	9214.17	-0.062162006
2003122011	9237.386	9248.662	0.121918764
2003122311	9234.891	9234.982	0.000983808
2003122411	9231.954	9224.368	-0.0822329
2004011715	9243.987	9232.961	-0.119425328
2004020411	9249.314	9234.512	-0.16028553
2004021409	9248.085	9248.969	0.009550389
2004022610	9254.165	9266.596	0.1341525
2004022613	9253.823	9259.061	0.056565017
2004031611	9241.694	9237.859	-0.04152075
2004031711	9241.58	9247.586	0.064939129
2004042015	9261.783	9265.895	0.044382962
2004042110	9257.258	9257.27	0.000134671
2004050414	9250.39	9253.17	0.03004771
2004050415	9277.542	9265.412	-0.130915399
2004050416	9274.215	9279.956	0.061857838
2004050609	9285.94	9287.232	0.013911856
2004061515	9319.909	9318.486	-0.015268784

위에서 보여 지듯이 최대 오차율이 약 0.16028 정도로 적은 오차율을 보이고 있다.

4.5 민감도 분석과 선형 회귀 분석의 비교

본 연구에서는 두 가지 방법에 의한 열소비율 오차율을 계산하였다.

민감도 해석에 의한 오차율의 계산은 앞에서 언급 한 바와 같이 터빈 사이클 내에 특정 상태량을 이용하여 열소비율을 예측하므로 열소비율과 특정 상태량에 변화에 따른 열소비율의 변화를 세밀하게 볼 수 있다는 장점이 있다. 단점으로는 열소비율의 오차율만으로 회귀 분석과 비교했을 경우 회귀 분석에 비해 높은 오차율을 보임으로 신뢰도가 떨어진다는 점이다.

반면에 선형 회귀 분석에 의한 열소비율 오차율은 하나의 데이터 세트의 상관도를 분석하여 상관계수가 큰 항목들로만 열소비율을 분석을 하게 되어있다. 앞에서 5개의 항목들은 열소비율을 추정하기위해 하나의 회귀 식으로 밀접하게 연관되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 하나의 데이터

세트를 이용하여 열소비율을 추정하여 터빈 사이클의 전체 성능을 분석하기 좋은 장점이 있다. 하지만 열소비율 오차가 큰 경우 5개의 변수 중에 어떠한 변수가 열소비율 추정에 영향을 미쳤는지 판단하기에는 어려움이 있다는 점이 단점이라 할 수 있겠다.

일반적으로 데이터 세트는 여러 개의 데이터 항목으로 구성되어 있다. 따라서 열소비율의 오차율을 분석하기 위해 우선 선형회귀 분석을 이용하여 하나의 데이터 세트의 열소비율 추정 값이 어느 정도의 오차율을 보이는지 판단을 하는 것이 우선이라 볼 수 있다. 회귀 분석을 통해 데이터 세트가 이루고 있는 항목들의 조합된 회귀식의 값을 판별 후 값의 오차가 많을 경우 그 항목에 대하여 민감도 분석에 의한 열소비율 오차율을 계산 분석하여 어떠한 항목이 열소비율의 오차율의 차이에 영향을 미치는지에 대한 분석이 가능하다고 본다.

5. 결 론

본 연구에서는 영광 원자력 발전소에서 실측된 데이터 세트를 이용하여 열소비율 신뢰도를 분석 하였다.

각 데이터 세트를 이루고 있는 약 4,000여개의 항목에 관하여 상관도를 분석하여 상관도가 높은 항목에 관하여 민감도 해석과 선형 회귀 분석을 이용하여 열소비율의 추정치를 계산 후 오차율을 구하였다. 선형회귀 분석이 민감도 해석에 비해 적은 오차율을 보였지만 민감도 해석은 각 항목과 열소비율간의 관계를 보다 세밀 하게 볼 수 있다는 장점이 있다.

터빈 사이클의 전체 성능을 표현을 위해 주로 사용되는 열소비율 분석을 위해서는 두 가지 방법의 장점 결합하여 사용하는 것이 보다 정밀한 분석을 할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 전력공사 전력연구원의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사를 드리며 본 연구에 필요한 성능 관련 사양 및 기타 데이터를 제공한 한국수력원자력 관계자에게 감사를 드린다.

참고문헌

- (1) Norman H. Nie, 1975 "SPSS", McGraw-Hill
- (2) Norusis, Marija J, "SPSS introductory guid : Basic statistics and operations", 1982, McGraw-Hell
- (3) Larsen, Richard J, "Statistics", 1990, Prentice Hill
- (4) Robert L Bartlett, "Steam Turbine Performance and Economics", 1958, McGraw-Hall
- (5) Kim S.K, "A Technical Manual of PERUPS", 2003
- (6) Kim S.k , Han S.T, "A Study on the Computerization of Performance Evaluation for Thermal Power Plant", 3rd KSME-JSME Thermal Engineering Conference, 1996
- (7) ASME PTC 6, "Guidance for Evaluation of Measurement Uncertainty in Performance Tests of Steam Turbines", 1985, ASME
- (8) ASME PTC 19.1 "Test Uncertainty", 1998, ASME