

## 열병합발전의 성능 모니터링을 위한 발전효율 모델

고성근\*, 고흥철\*<sup>†</sup>, 이준석\*\*

\*㈜테크다스, \*\*포항산업과학연구원

## Power Generation Efficiency Model for Performance Monitoring of Combined Heat and Power Plant

Sung Guen Ko\*, Hong Cheol Ko\*<sup>†</sup>, Jun Seok Yi\*\*

\*TechDas Ltd, Seoul 08503, Korea

\*\*RIST, Pohang 37673, Korea

**ABSTRACT** : The performance monitoring system in the power plant should have the capability to estimate power generation efficiency accurately. Several power generation efficiency models have been proposed for the combined heat and power (CHP) plant which produces both electricity and process steam(or heating energy, hereinafter expressed by process steam only). However, most of the models are not sufficiently accurate due to the wrong evaluation of the process steam value. The study suggests Electricity Conversion Efficiency (ECE) model with determination of the heat rate of process steam using operational data. The suggested method is applied to the design data and the resulted trajectory curve of power generation efficiency meets the data closely with R2 99.91%. This result confirms that ECE model with determination of the model coefficient using the operational data estimate the efficiency so accurately that can be used for performance monitoring of CHP plant.

**초 록** : 화력발전소에서 장치 이상이나 열화로 인해 발전효율이 저하될 때 운전자가 이를 감지하고 적시에 조치를 취할 수 있도록 지원하는 성능관리시스템은 무엇보다도 발전효율을 정확하게 예측하는 것이 중요하다. 공정용 증기 또는 난방용 열(이하 공정용 증기로 단일화 표기)과 전기를 동시에 생산하는 열병합발전에 대해 지금까지 다수의 발전효율 모델들이 제안되었는데, 대부분 공정용 증기의 가치를 제대로 평가하지 못해 발전효율을 정확하게 예측하지 못했다. 본 연구에서는 발전효율 예측 모델의 계수를 조업 데이터를 통해 결정하고, 공정용 증기의 전기 환산효율(ECE, Electricity Conversion Efficiency) 모델을 적용함으로써 공정용 증기의 가치를 정확하게 평가할 수 있도록 하였다. 본 방법을 열병합발전의 설계 데이터에 적용하여 발전부하에 대한 발전효율의 추세선을 구한 결과 R2가 99.91%로 회귀 수준이 매우 높았다. 본 결과로부터 조업 데이터를 이용한 ECE 모델 계수 결정 방법이 발전효율을 정확하게 예측하여 열병합발전에 대한 성능 모니터링에 적합함을 확인할 수 있었다.

**Key words** : Combined Heat and Power(열병합발전), Electricity Conversion Efficiency(전기 환산효율), Power Generation Efficiency(발전효율), Performance Monitoring (성능감시)

---

Corresponding Author, kohc@techdas.co.kr

## 열병합발전의 성능 모니터링을 위한 발전효율 모델

### - 기호설명 -

c : 전기 환산효율 모델의 계수  
 EQ : 공정용 증기(또는 난방용 열)의 엑서지(MW)  
 ETOT : 투입한 연료의 엑서지(MW)  
 FTOT : 투입한 연료의 열량(MW)  
 H : 공정용 증기의 엔탈피(Kcal)  
 P : 전기 출력(MW)  
 Q : 공정용 증기(또는 난방용 열)의 열량(MW)  
 S : 공정용 증기의 엔트로피(Kcal/°C)  
 β : 공정용 증기(또는 난방용 열)의 열량 대비 엑서지의 비율

ε : 열역학적 효율  
 ζ : 엑서지 효율 변형 모델 1 식 (5)의 상수  
 η BOIL : 보일러 효율  
 η ECE : 전기 환산효율  
 η EEE : 유효 발전효율  
 η EX : 엑서지 효율  
 η EX\_MOD1 : 엑서지 효율 변형 모델 1  
 η EX\_MOD2 : 엑서지 효율 변형 모델 2  
 η PURPA : PURPA 효율  
 η THE : 열 효율

## 1. 서론

IT의 발전으로 실시간 운전 데이터 수집이 용이해짐에 따라 대부분의 발전소에서는 성능관리시스템(Performance Monitoring System(PMS))을 통해 장치의 상태를 실시간으로 모니터링하고 있다. PMS는 장치에 이상이나 열화가 발생하여 발전효율이 저하될 때 운전자가 이를 감지하여 적시에 조치를 취할 수 있도록 지원한다. PMS가 이러한 기능을 효과적으로 수행하려면 무엇보다도 발전효율을 정확하게 예측하는 것이 필요하다.

본 연구는 발전효율을 실시간으로 예측하는 모델에 관한 것으로 열병합발전을 대상으로 한다. 열병합발전은 Fig. 1과 같이 공정용 증기를 생산하는 방식과 난방용 열을 생산하는 방식으로 구분된다. 전자의 방식에서는 터빈의 중간단에서 저압의 증기를 추출하여 타 사용처에 공급하며, 후자의 방식에서는 저압 증기 대신에 열교환기를 통해 온수를 만들어 주변의 건물이나 주택단지에 공급한다. 본 연구에서는 전자의 방식만을 다룰 것이지만 후자의 방식에도 제안기술을 동일하게 적용할 수 있다.

열병합발전의 발전효율을 예측하는 다수의 모델들이 제안되었는데, 이들은 공정용 증기의 가치를 평가하는 방법에서 차이가 있다.(1,2) 가장 간단한 모델은 공정용 증기의 가치를 전기와 동일하게 평가하는 방식인 열 효율(Thermal efficiency) 모델로 전기 출력과 공정용 증기 생산량의 합을 보일러에 투입한 열량으로 나누어 효율을 계산한다.

$$\eta_{THE} = (P + Q) / FTOT \quad (1)$$

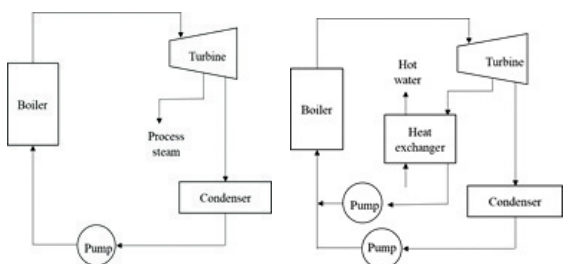
여기서 P는 전기 출력, Q는 공정용 증기의 열량, FTOT은 보일러에 투입한 열량을 의미한다. 이 모델은 열소비율(Heat rate)이 작은 공정용 증기의 가치를 열소비율이 큰 전기와 동일하게 보기 때문에 공정용 증기를 많이 생산할수록 발전효율이 높아진다. 발전효율이 심지어 90%에 달하기도 한다.(3)

열 효율 모델의 문제를 개선하기 위해 다수의 모델들이 제안되었는데, 대표적인 것이 유효 발전효율(Effective electric efficiency) 모델(4)이다.

$$\eta_{EEE} = P / (FTOT - Q / \eta_{BOIL}) \quad (2)$$

유효 발전효율 모델은 공정용 증기를 생산하는데 소요된 열량을  $Q/\eta_{BOIL}$ 로 간주하여 보일러에 투입한 열량 FTOT에서 빼어 분모로 취하고, 전기 출력 P를 분자로 취하여 발전효율을 계산한다. 이는 공정용 증기의 영향을 제거하고 전기 출력만을 고려해서 발전효율을 구하려는 의도이다.

한편 1979년 미국 의회는 열병합발전의 효율에 관한 규정 PURPA(Public Utility Regulatory Policy Act)를 통



a) Process steam production      b) District heating hot water production

Fig. 1 CHP classification

과시켰는데, 이 규정은 난방용 열의 가치를 전기의 절반으로 평가하여 발전효율을 계산한다(5).

$$\eta_{PURPA} = (P + 0.5 Q) / FTOT \quad (3)$$

이상의 세 가지 모델들은 공정용 증기의 비율이 클수록 발전효율을 높게 예측하는데, 설비 제작사나 발전사가 자사 기술의 우수성을 홍보하려는 전략과도 무관하지 않다.(3)

열병합발전의 효율을 좀더 객관적으로 평가하기 위하여 열역학 2법칙에 의한 엑서지 효율(Exergy efficiency) 모델이 제안되었다.(6) 엑서지란 에너지의 유용성을 나타내는 열역학적 성질로서 엑서지 효율은 발전플랜트에 투입한 엑서지 대비 출력한 엑서지의 비로 표현된다.

$$\eta_{EX} = (P + EQ) / ETOT \quad (4)$$

여기서 ETOT는 보일러에 투입한 연료의 엑서지이며, EQ는 공정용 증기의 엑서지이다.

엑서지 효율을 기반으로 다수의 변형 모델들이 제안되었는데, 대표적인 모델은 아래와 같다.(7)

$$\eta_{EX\_MOD1} = (P + EQ + \zeta(Q - EQ)) / FTOT \quad (5)$$

이 모델은  $\zeta$ 를 0.12로 하는 보정 항을 포함하고 있고, 분모 항이 연료의 엑서지 대신에 열량이라는 점이 엑서지 효율과 다르다. 또 다른 엑서지 효율의 변형 모델로

$$\eta_{EX\_MOD2} = (P + \varepsilon EQ) / FTOT \quad (6)$$

가 있다.(8) 여기서 엑서지 보정 인자  $\varepsilon$ 은 열역학적 효율을 의미하는데, 어떤 에너지 원으로부터 얻을 수 있는 이론적 최대 효율 대비 실제 효율의 비이다. 즉 어떤 에너지원의 엑서지 대비 이를 이용하여 얻을 수 있는 가용열의 비를 의미한다.

뒤에서 제시하겠지만 지금까지 살펴본 모델들로는 설비의 열화나 공정 이상으로 발전 성능이 저하되는 것을 찾아내기 어렵다. 공정용 증기의 생산량에 따라 발전효율의 변화가 너무 커서 발전 성능에 따른 변화를 식별하기 어렵

다. 이 모델들은 열병합발전의 서로 다른 장치구조나 공정 기술의 차이를 비교하는 데는 효과적이지만 장치의 성능 열화를 식별하는 데는 적합하지 않다.

## 2. 전기 환산효율 모델

본 연구는 전기와 공정용 증기 간의 가치의 차이를 정확하게 설정하여 열병합발전의 효율을 정확하게 예측하는 것을 목표로 하며 실제 조업 데이터를 통해 이를 실행하는 방법을 제안한다. 공정용 증기의 열소비율을 전기의 열 소비율로 환산하여 발전효율을 계산하는 전기 환산효율(ECE) 모델을 사용한다.

ECE 모델은 다음과 같다,

$$\eta_{ECE} = (P + c Q) / FTOT \quad (7)$$

여기서 ECE 모델 계수  $c$ 가 공정용 증기의 가치를 전기의 가치로 환산하는 계수로서

$$c = \text{공정용 증기 열소비율} / \text{전기 열소비율} \quad (8)$$

로 정의된다.  $c$ 는 조업 데이터를 통해 구한다. 앞에서 소개한 식 (3)의 PURPA 모델은 ECE 모델의 하나로  $c$ 가 0.5인 경우이다. 참고로 식 (1)의 열 효율 모델은  $c$ 가 1인 ECE 모델이라고 할 수 있다.

ECE 모델 계수  $c$ 는 공정용 증기의 열소비율에 의해 결정되므로 열병합발전마다 고유한 값을 가진다. 공정용 증기의 온도와 압력 조건은 물론이고 설계 조건, 장치 성능, 연료 종류, 설비 상태, 운전 조건, 외부 환경 등 여러 인자가 영향을 미친다. 열병합발전의 장치 구조나 공정 기술의 차이를 평가하기 위하여 제안된 기존의 발전효율 모델들은 장치의 성능이나 설비의 상태의 변화에 의한 열소비율의 변화를 반영할 수 없기 때문에 모니터링 용도로는 적합하지 않다.

ECE 모델은 식 (6)의 엑서지 변형 모델과 형태가 유사한데, 둘의 물리적 의미를 비교해보자. 공정용 증기의 열량  $Q$ 에 대한 공정용 증기의 엑서지  $EQ$ 의 비를

## 열병합발전의 성능 모니터링을 위한 발전효율 모델

Table 1 Case study design data of 100MW combined heat and power plant (CHP)

Design No.	Heat input MW	Electricity MW	Main steam			Process steam		
			Flow ton/hr	Press, bar	Temp	Flow ton/hr	Press bar	Temp
S1	262.6	104.6	330.0	128.0	538.0	45.0	13.0	210.0
P1	262.1	114.4	330.0	128.0	538.0	0.0	-	-
S2	250.9	100.0	312.8	128.0	538.0	45.0	13.0	210.0
S3	195.1	75.0	235.1	128.0	538.0	45.0	13.0	210.0
P2	227.9	100.0	279.7	128.0	538.0	0.0	-	-
P3	173.9	75.0	206.7	128.0	538.0	0.0	-	-
P4	122.9	50.0	145.9	128.0	538.0	0.0	-	-

$$\beta = EQ / Q \quad (9)$$

로 정의하면,  $EQ = \beta Q$ 이다. 이를 식 (6)에 대입하면

$$\eta_{EX\_MOD2} = (P + \varepsilon \beta Q) / FTOT \quad (10)$$

가 된다. 따라서  $c = \varepsilon \beta$ 이다. 식 (6)에서  $\varepsilon$ 은 앞에서 언급했듯이 어떤 에너지 원으로부터 얻을 수 있는 이론적 최대 효율 대비 실제 효율의 비이며, 공정용 증기의 엑서지 대비 실제 발전 출력의 비로 표현된다. 조업 데이터를 이용하여 대상 열병합발전의 고유한  $\varepsilon$  값을 구하면, 식 (7)의 ECE 모델과 같은 효과가 있다.

공정용 증기가 고온일수록 열소비율이 커지므로 ECE 모델 계수도 큰 값을 갖는다. 가장 큰 ECE 모델 계수는 보일러에서 생산하는 주증기를 직접 공정용 증기로 생산하는 경우이며, 그 크기는 증기-터빈 계통(Steam-turbine system)에서의 발전효율과 같다. 반면에 가장 작은 ECE 모델 계수는 터빈의 출구에서 공정용 증기를 추출하는 경우이다. 난방용 열을 생산하는 경우에는 대개 0.15에서 0.2 사이의 값을 가지며(9), 공정용 증기를 생산하는 경우에는 이보다 큰 0.2에서 0.4 사이의 값을 갖는다. 참고로 PURPA 모델과 열 효율 모델이 공정용 증기가 많을수록 발전효율을 높게 평가하는 것은 실제보다  $c$ 를 크게 보기 때문이다.

보일러에 투입한 열량 FTOT 중에서 발전에 소요된 양의 비율은  $P/(P+cQ)$ 이고 공정용 증기 생산에 소요된 양의 비율은  $cQ/(P+cQ)$ 이다. 따라서 ECE 발전효율을 전기 출력

과 공정용 증기에 대한 열소비율로 나타내면

$$\eta_{ECE} = 1 / [\text{전기의 열소비율}] \quad (11)$$

$$= c / [\text{공정용 증기의 열소비율}] \quad (12)$$

와 같다. 식 (7)을 열소비율로 표현하면

$$\eta_{ECE} = 1 / [(P + cQ) \text{의 열소비율}] \quad (13)$$

과 같다. 식 (11) ~ (13)을 통해 ECE 모델 계수  $c$ 를 구할 수 있다. 단, 조업 데이터를 이용하여 ECE 모델 계수를 구하려면 공정용 증기의 열소비율에 영향을 미치는 변수의 변화가 없어야 한다.

### 3. 발전효율 모델의 비교

발전효율 모델들을 평가하기 위하여 열병합발전의 설계 데이터를 적용하였다. 설계 조건은 모두 일급 가지로 Table 1과 같다. S1은 전기 104.6MW와 공정용 증기 45ton/hr를 생산하는 설계이고, P1은 전기만 114.4MW를 출력하는 설계이다. 그리고 S2와 S3는 각각 전기 100MW와 75MW를 출력하면서 공정용 증기 45ton/hr를 생산하는 설계이다. P2, P3, P4는 각각 전기만 100, 75, 50MW를 출력하는 설계이다. 여기서 S1과 P1이 연속최대출력(Maximum continuous rate) 조건이다. 각 설계는 전기 출력 크기와 공정용 증기의 생산량을 제외하고, 공정용 증

Table 2 Calculation of power generation efficiency for case study design data

Design No.	Thermal	Effective electric	PURPA	Exergy eff. mod 1. Eq (5)	Exergy eff. mod 2. Eq (6)	Electricity conversion
S1	53.0	45.9	46.4	45.4	42.9	43.6
P1	43.7	43.7	43.7	43.7	43.7	43.6
S2	53.7	46.2	46.8	45.6	43.1	43.9
S3	56.2	46.7	47.3	45.9	42.6	43.6
P2	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9
P3	43.1	43.1	43.1	43.1	43.1	43.1
P4	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
Max	56.2	46.7	47.3	45.9	43.8	43.9
Mini	40.7	40.7	40.7	40.7	40.6	40.7
Max-Mini	15.5	6.1	6.6	5.2	3.2	3.2

기의 열소비율에 영향을 미치는 변수는 모두 동일하다고 가정한다.

본 설계는 증기-터빈 계통(Steam-turbine system)에 대한 것이며 제작사가 다른 보일러와 발전기는 포함하고 있지 않다. 증기-터빈

계통, 보일러, 발전기 효율은 각각이 독립적이라고 가정할 수 있으므로 총 효율은 개별적으로 구한 단위 효율들의 곱과 같다.

Table 1에서 증기-터빈 입열량(Heat input)은 보일러를 중심으로 작성한 열 수지로 계산하였다. 주증기와 고온 재열증기(Hot reheat steam) 엔탈피에서 저온 재열증기(Cold reheat steam)와 보일러 공급수의 엔탈피를 뺀 값이다. 본 설계에서 배출수(Drain water)와 과열저감수(De-superheating spray water)는 0이다.

발전효율 계산에 필요한 공정용 증기의 열량 Q와 엑서지 EQ( $\Delta H?T_0\Delta S$ )는 증기 테이블(10)에서 구한 엔탈피(H)와 엔트로피(S)로 계산하였다.  $T_0$ 는 288.15° K(15°C)를 적용하였다. 이렇게 구한 공정용 증기의 열량 Q와 엑서지 EQ는 각각 34.7MW와 11.7MW였다. 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델의  $\epsilon$ 은 Gulen이 인용한 표에서 찾아 0.7을 적용하였다.(8)

연속최대출력 조건인 S1과 P1을 이용하여 ECE 모델 계수를 구했다. P1에 대해 식 (11)을 적용하여 발전효율  $1/(262.1/114.4)=0.436$ 을 구하고, 식 (13)을 S1에 적용하여  $0.436=1/[262.6/(104.6+34.7c)]$ 로부터 c를 0.29로 구

했다.

발전효율 모델들의 예측 결과는 Table 2와 같다. 식 (4)의 엑서지 효율 모델은 표에서 제외하였는데, 다른 모델들과 개념이 다르고 결과도 좋지 않았기 때문이다.

발전부하에 대해 발전효율의 변화가 작은 모델일수록 장치의 성능 저하를 식별할 수 있는 능력이 우수하다. 반대로 장치의 성능보다 발전부하의 변화가 발전효율을 더 크게 변화시킨다면, 장치의 성능 변화를 구분해내기 어렵기 때문이다. 설계 적용 결과에서는 ECE 모델과 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델이 Max-Mini(가장 큰 값과 가장 작은 값의 차이)가 3.2%로 가장 작았다. 반면에 열 효율 모델이 15.5%로 가장 컸다. 따라서 설비의 성능 저하를 판별하는 능력은 ECE 모델과 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델이 가장 좋았다.

정격출력에서 발전효율이 가장 높아지도록 설계되어 있으므로 발전부하를 횡축으로 하고 발전효율을 종축으로 하여 발전효율 데이터를 연속적으로 연결하면 정격출력에서 발전효율을 정점으로 하는 일정한 형태의 곡선이 형성된다. 각 모델들이 공정용 증기의 열소비율을 어느정도 정확하게 평가하는지를 분석하기 위해 발전효율의 발전부하에 대한 추세선의 회귀 능력을 비교하였다.

Table 3에 각 모델이 정의하는 발전부하와 발전효율에 대한 추세선의 R2를 나타냈다. 여기서 추세선은 2차식으로 가정하였다. ECE 모델이 추세선의 R2가 99.91%로 가장 높았으며, 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델이 86.85%로

## 열병합발전의 성능 모니터링을 위한 발전효율 모델

Table 3 R<sup>2</sup> of power generation efficiency trajectory curve

Efficiency model name	Converted load, MW	R2of2ndordertrajectorycurve,%
Thermal	P + Q	57.14
Effective electric	P	62.38
PURPA	P + 0.5 Q	60.00
Modified exergy 1	P + EQ + 0.12 (Q - EQ)	72.68
Modified exergy 2	P + 0.7 EQ	86.85
Electricity conversion	P + 0.29 Q	99.91

다소 낮았고, 열 효율, 유효 발전효율, PURA 효율, 식 (5)의 엑서지 효율의 변형 모델은 55 ~ 75%로 낮았다.

Fig.2에 발전효율 데이터와 추세선을 그림으로 나타냈다. 추세선이 데이터를 정확하게 회귀한 우측 하단의 그림으로부터 ECE 모델이 공정용 증기의 열소비율을 정확하게 평가했음을 알 수 있다. 열 효율, 유효 발전효율, PURA 효율, 식 (5)의 엑서지 효율의 변형 모델은 공정용 증기를 생산하는 S1, S2, S3 경우에 전기 환산효율 모델보다 발전효율을 높게 제시했으며, 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델만이 낮게 제시했다. 이는 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델

만이 공정용 증기의 가치를 전기 환산효율보다 낮게 평가하고, 나머지 모델들은 높게 평가한다는 의미이다.

본 연구에서 적용한 설계 데이터에는 공정용 증기의 열 소비율에 영향을 미치는 설계 조건, 장치 성능, 연료 종류, 설비 상태, 운전 조건, 외부 환경 요인의 변화가 없다. 그러나 조업 데이터에는 이와 같은 이상적인 조건이 적용될 수 없으며, 계측기의 노이즈와 동적 변화까지 포함하고 있다. 조업 데이터를 이용하여 ECE 모델 계수를 결정하기 위해서는 공정용 증기의 열소비율에 변화를 미치는 외란의 영향을 보정하여야 한다.

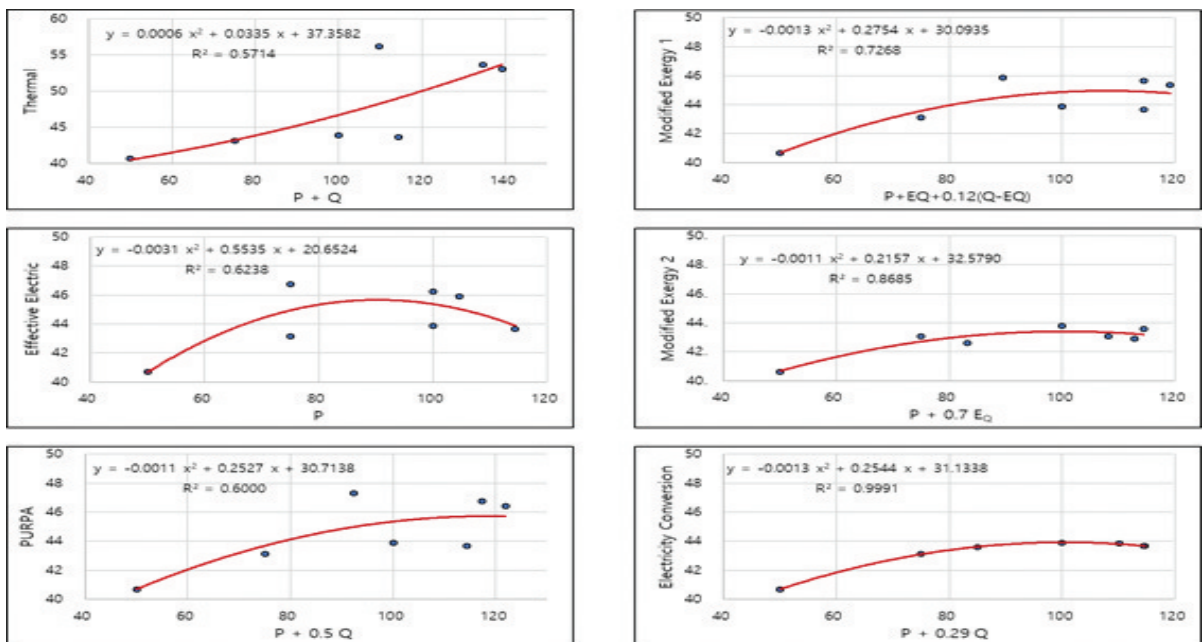


Fig. 2 Trajectory curves of power generation efficiency applied to case study design data



## 4. 결론

열병합발전에서 공정용 증기의 가치를 정확하게 평가하기 위하여 조업 데이터를 이용하여 ECE 모델의 계수를 결정하는 방법을 제안하였다. ECE 모델과 기존 모델들을 100MW급 설계 조건에 적용하여 비교 평가하였다.

장치의 성능 저하를 판별하는 능력을 평가하기 위하여 발전부하에 대한 발전효율 변화의 폭을 비교하였다. 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델과 본 연구에서 제안한 ECE 모델이 발전부하의 변화에 의한 발전효율의 최대값과 최소값의 차이가 가장 작아서, 장치의 성능 저하를 감지하는 능력이 가장 우수하였다. 열 효율, PURA 효율, 유효 발전 효율, 식 (5)의 엑서지 효율의 변형 모델 순서로 최대값과 최소값의 차이가 컸다.

공정용 증기의 열소비율의 정확성을 평가하기 위하여 발전효율의 발전부하에 대한 추세선의 회귀 수준을 비교하였다. ECE 모델이 발전

효율의 발전부하에 대한 추세선의 R2가 99.91%로 가장 높아서, 공정용 증기의 열소비율을 가장 정확하게 평가하였다. 식 (6)의 엑서지 효율 변형 모델이 86.85%로 다소 낮았고, 열 효율, 유효 발전효율, PURA 효율, 식 (5)의 엑서지 효율의 변형 모델은 55 ~ 75%로 낮았다.

본 결과로부터 실제 조업 데이터를 이용한 ECE 모델 계수 결정 방법이 열병합발전에 대한 성능 모니터링 용도로서 가장 적합함을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. Torchio M. F., 2013, Energy-Exergy, Environmental and Economic Criteria in Combined Heat and Power Plants, Energies, No.6, 2686-2798
2. Kumar R., 2017, A critical review on energy, exergy, exergoeconomic and economic analysis of thermal power plants, Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 20, Issue 1, 283-292
3. Peltier R., Plant Efficiency: Begin with the Right Definition, Power Magazine 2010, available at <https://www.powermag.com/plant-efficiency-begin-with-the-right-definitions/>
4. John H., 1997, Cogeneration ? Combined Heat and Power (CHP). 2nd ed. Malabar, FL: Krieger
5. Catalog of CHP Technology; U. S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2008
6. Kanoglu M. and Dincer I., 2009, Performance Assessment of Cogeneration Plants, Energy Conversion and management, Vol. 50, 76-81
7. Feng X., Cai Y-N, Qian L-L, 1998, A New Performance Criterion for Cogeneration System, Energy Conver. Management, No.39, 1607
8. Can Gulen S., 2010, A Proposed Definition of CHP Efficiency, Power, No. 6
9. Phylipsen G., Blok K., Worrell E., 1998, Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht
10. The International Association for the Properties of Water and Steam, Industrial Formulation 97 for Thermodynamic Properties of Water and Steam, 2007 