

증기터빈 열병합발전에서 열과 전기의 비용배분

김 덕 진[†]
에너코스

Cost Allocation of Heat and Electricity on a Steam-Turbine Cogeneration

Deok-Jin Kim[†]

ENECOS, Gwangyang-si, Chollanam-do, 545-884, Korea

(Received June 22, 2008; revision received August 28, 2008)

ABSTRACT: When various kinds of outputs are produced from a single energy system, the methodology which allocates the common cost to each output cost is very important because it is directly related with the profit and loss of producers and purchasers. In the cost allocation methodology of the heat and the electricity on a cogeneration, there are energy method, work method, proportional method, benefit distribution method, exergetic methods, and so on. On the other hand, we have proposed a worth method which can be applied to any system. The definition of this methodology is that the unit cost of a product is proportion to the worth. Where, worth is a certain evaluating basis that can equalize the worth of products. In this study, we applied worth method to a steam-turbine cogeneration which produces 22.2MW of electricity and 44.4 Gcal/h of heat, and then we allocated 2,578 \$/h of common cost to electricity cost and heat cost. Also, we compared with various cost allocation methods. As the result, we conclude that exergy of various kinds of worth basis evaluates the worth of heat and electricity most reasonably on this system.

Key words: Worth(가치), Exergy(엑서지), Cogeneration(열병합발전), Unit cost(원가), Cost estimating(원가산정), Cost allocation(비용배분), Heating price(열요금)

기 호 설 명			
C	: 에너지원가 [\$/GJ]	Z	: 간접비 및 구성기기의 비용흐름 [\$/h]
D	: 가격흐름 [\$/h]		그리스 문자
E_X	: 엑서지흐름 [MW]	κ	: 가치율
F	: 연료투입량 [MW]	η	: 효율
K	: 가치에너지량 [MW]		하첨자
P	: 에너지 산출량 [MW]	A	: 대체 시스템
Q	: 열 생산량 [MW]	B	: 고정비
W	: 전기 생산량 [MW]	C	: 전기와 열 생산의 공통구성기기
		ID	: 간접비
		F	: 연료

[†] Corresponding author

Tel.: +82-61-793-2730; fax: +82-61-794-2730

E-mail address: enecos@hotmail.com

Q : 열
 W : 전기
 U : 변동비

1. 서 론

제품의 1단위를 만드는데 든 모든 비용을 계산하는 일을 원가산정이라 하며, 제품은 유형의 물품뿐만 아니라 무형의 서비스 등 매우 다양하게 해당된다. 단일시스템으로부터 하나의 제품만을 산출할 경우 그 제품의 원가는 매우 간결하게 산정될 수 있지만, 다양한 제품이 동시에 산출될 경우 각 제품의 원가를 산정하는 일은 난해해지게 된다. 대표적인 복합생산시스템은 열병합발전이며, 생산된 열과 전기의 원가를 합리적으로 산정하는 일은 생산자와 구매자의 손익과 직접적으로 관계되기 때문에 매우 중요하다.

열병합발전에서 생산된 열과 전기의 원가를 산정할 수 있는 대표적인 방법론에는 The World Bank Technical Paper⁽¹⁾에서 소개되었듯이, Energy 방법, Work 방법, Proportional 방법, Benefit distribution 방법, Alternative heat 방법, Alternative electricity 방법 등이 있다. 또한, 많은 공학자들이 열역학 제 2법칙에 기반을 둔 엑서지적 방법들을 제안해 오고 있으며, 대표적인 방법들로는, the exergetic cost theory,⁽²⁻³⁾ the average cost approach,⁽⁴⁾ the specific cost exergy costing,^(5 6) the modified productive structure analysis^(7 8) 등이 있다.

한편, 우리는 선행연구에서 새로운 엑서지적 방법론을 제안⁽⁹⁾하였고, 기존의 엑서지적 방법론과의 차이점을 밝힌바 있다. 최근 연구에서는 제안한 엑서지적 방법론과 The World Bank Technical Paper에서 제안된 방법론을 통합한 가치방법(Worth Method)⁽¹⁰⁾을 새롭게 제안하였다. 이 가치방법은 각 제품의 원가는 그 가치에 비례한다고 정의되며, 유형의 제품뿐만 아니라 무형의 서비스까지 다양하게 적용되어 각 제품의 원가를 산정할 수 있다는 것이 기존 방법론에 비해 가장 큰 특징이라 할 수 있다.

본 연구에서는 가치방법⁽¹⁰⁾의 적용 예로써, 현재 가동 중인 증기터빈 열병합발전에서 생산된 열과 전기를 가치평가 하고 원가산정 및 비용배분을 수행하고자 한다.

2. 가치방법론의 제안

선행 연구⁽¹⁰⁾에서 제안한 바와 같이 가치방법의 정의는 생산원가는 제품의 가치에 비례한다 이며, 그 원가산정 수식은 다음과 같다.

$$C_i = \kappa_i \cdot \frac{\dot{D}_{ES} + \dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_C}{\sum_{i=1}^N \kappa_i \dot{P}_i} + \frac{\dot{Z}_i}{\dot{P}_i} \quad (1)$$

$$\dot{D}_i = C_i \cdot \dot{P}_i \quad \text{where, } \kappa_i = \dot{K}_i / \dot{P}_i \quad (2)$$

여기서, 하첨자 i 는 N 개의 생산 제품 중 i 번째 생산품, 기호 C 는 생산원가, κ_i 은 전달된 가치에 너지량 \dot{K}_i 과 생산된 에너지량 \dot{P}_i 과의 비율 즉 가치율, \dot{D}_{ES} 는 열원의 투입비용, \dot{Z}_{ID} 는 시스템 외적인 간접비용, \dot{Z}_C 는 각 제품을 생산하기 위해 공동으로 관여되는 구성기기의 비용, \dot{Z}_i 는 i 번째 제품 생산에만 관여되는 구성기기의 비용, \dot{D}_i 는 i 번째 제품으로 배분된 비용이다.

위의 수식을 전기와 열을 생산하는 열병합발전 에 대입하면 다음의 수식으로써 전기와 열의 변동비원가와 고정비원가를 산정할 수 있다.

$$C_{U,W} = \kappa_W \cdot \frac{\dot{D}_F}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}}, \quad \kappa_W = \frac{\dot{K}_W}{\dot{W}} \quad (3)$$

$$C_{U,Q} = \kappa_Q \cdot \frac{\dot{D}_F}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}}, \quad \kappa_Q = \frac{\dot{K}_Q}{\dot{Q}} \quad (4)$$

$$C_{U,W} : C_{U,Q} = \frac{\kappa_W}{\kappa_W + \kappa_Q} : \frac{\kappa_Q}{\kappa_W + \kappa_Q} \quad (5)$$

$$C_{B,W} = \kappa_W \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_C}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}} + \frac{\dot{Z}_W}{\dot{W}} \quad (6)$$

$$C_{B,Q} = \kappa_Q \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_C}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}} + \frac{\dot{Z}_Q}{\dot{Q}} \quad (7)$$

여기서 하첨자 U 는 변동비, B 는 고정비, F 는 연료, W 는 전기 그리고 Q 는 열을 뜻한다.

한편 가치에너지란 생산된 각 에너지의 가치를 동급으로 평가하기 위해 새롭게 제시하는 어떤 에너지로써, 열병합발전일 경우 엔탈피, 대체전기, 대체열, 대체연료, 엑서지 등이 해당될 수 있다. 만약 가치에너지로써 엔탈피를 적용한다면 위 식

Table 1 Unification of previous methods to worth method

Allocation methods	Worth Evaluation	Inflow in common component	Transfer in private component			Worth ratio	
		$\dot{K}_C =$	\dot{K}_W	+	\dot{K}_Q	κ_W	κ_Q
Energy	Enthalpy	$\dot{W} + \dot{Q}$	\dot{W}		\dot{Q}	100%	100%
Proportional	alternative heat	$\dot{F} \cdot \eta_{AQ}$	$\dot{F} \cdot \eta_{AQ} - \dot{Q}$		\dot{Q}	$\frac{\dot{F} \cdot \eta_{AQ} - \dot{Q}}{\dot{W}}$	100%
	Work	$\dot{F} \cdot \eta_{AW}$	\dot{W}		$\dot{F} \cdot \eta_{AW} - \dot{W}$	100%	$\frac{\dot{F} \cdot \eta_{AW} - \dot{W}}{\dot{Q}}$
Equal distribution	equal fuel saving(\dot{M})	\dot{F}	$\frac{\dot{W}}{\eta_{AW}} - \frac{\dot{M}}{2}$		$\frac{\dot{Q}}{\eta_{AQ}} - \frac{\dot{M}}{2}$	$\frac{1}{\eta_{AW}} - \frac{\dot{M}}{2\dot{W}}$	$\frac{1}{\eta_{AQ}} - \frac{\dot{M}}{2\dot{Q}}$
Benefit distribution	alternative fuel	$\frac{\dot{W}}{\eta_{AW}} + \frac{\dot{Q}}{\eta_{AQ}}$	$\frac{\dot{W}}{\eta_{AW}}$		$\frac{\dot{Q}}{\eta_{AQ}}$	$\frac{1}{\eta_{AW}}$	$\frac{1}{\eta_{AQ}}$
	alternative worth	$\dot{W}\kappa_{AW} + \dot{Q}\kappa_{AQ}$	$\dot{W} \cdot \kappa_{AW}$		$\dot{Q} \cdot \kappa_{AQ}$	κ_W	κ_Q
Worth	actual worth	$\dot{K}_W + \dot{K}_Q$	\dot{K}_W		\dot{K}_Q	\dot{K}_W / \dot{W}	\dot{K}_Q / \dot{Q}

의 결과는 기존의 Energy 방법과, 대체열로 대입한다면 기존의 Proportional 방법과, 대체전기로 대입한다면 기존의 Work 방법과, 대체연료로 대입한다면 기존의 Benefit distribution 방법과 각각 같게 되고, 엑서지로 대입한다면 기존에 없었던 새로운 원가산정 결과를 얻을 수 있다.

Table 1에는 가치에너지를 엔탈피, 대체열, 대체전기, 동일연료절약량, 대체연료로 기준할 경우에 대한 가치에너지 전달량 \dot{K} 과 가치율 κ 이 정리되어 있다. 본 테이블의 장점은 기존의 각 방법에서 각각의 이론으로 설명 및 전개하였던 수식을 가치에너지라는 통합된 개념으로 설명 및 수식을 전개할 수 있으므로 명확하고 간결하다는 것이다. 하나의 예로써, Proportional 방법은 가치를 대체열로써 평가하므로 연료투입량 \dot{F} 을 대체열 $\dot{F} \cdot \eta_{AQ}$ 화 시켜, 대체열 중 \dot{Q} 은 열 \dot{Q} 로 생산되고, 그 나머지 $\dot{F} \cdot \eta_{AQ} - \dot{Q}$ 가 전기 \dot{W} 를 생산하기 위해 투입된다고 적용한다.

3. 열과 전기의 비용배분

보일러, 펌프, 터빈, 히터 그리고 열교환기로 이루어진 Fig. 1의 증기터빈 열병합발전은 85.6MW의 연료를 투입 받아 22.2MW의 전기와 51.6MW

(44.4 Gcal/h)의 온수를 생산하는 전체효율 86.1%의 시스템이다. 주어진 상태에서의 엔탈피와 엑서지(환경상태 15 °C, 101.325 kPa)를 계산하기 위해 본 연구그룹에서 개발된 SteamPlan 1.0 소프트웨어를 이용하였으며, Fig. 1의 T-s 선도 상에 각 상태값 및 과정값이 출력되어 있다.

열과 전기의 원가산정을 위해서는 Table 1과 같이 생산품의 가치평가가 먼저 수행되어야 하며, 대체전기효율과 대체열효율 값이 필요로 된다. 증기터빈열병합발전에서 대체전기효율은 Fig. 1 시스템의 컨덴싱 모드에서의 효율 36.0%을 적용하나, 대체열효율은 어떤 기준이 없다. 따라서 대체열효율 값으로 임의 보일러에서의 85%를 적용하고자 하며, 더불어 구성기기 [20, 21]에서의 열교환효율 99.9%을 대체열효율 값으로 새롭게 제안하고자 한다.

전기와 열의 가치를 유용일인 엑서지로써 평가한다면, 열병합발전에서의 각 구성기기를 공통기기, 전기전용기기, 열전용기기로 구분⁽⁹⁾하는 것이 중요하다. Fig. 1에서 구성기기 [1]은 공통기기로, 구성기기 [2, 3, 6]은 전기전용기기로, 구성기기 [20, 21]은 열전용기기로의 구분이 명확하나, 구성기기 [4, 5, 7, 8, 19]의 구분은 모호성이 존재하고 있다. 따라서 구성기기 [4, 5, 7, 8, 19]를 공통기기로, 열전용기기로, 전기전용기기로 분류하는

Table 2 Results of worth evaluation by Table 1, cost estimating by Eq. (3) and (4), and cost allocation by Eq. (2) on the fuel cost. Where, \dot{D}_F is 737 \$/h, \dot{F} is 85.6 MW, \dot{W} is 22.1 MW, and \dot{Q} is 51.6 MW

Cost Allocation Method	η_W [%]	η_Q [%]	\dot{K}_C [MW]	\dot{K}_W [MW]	\dot{K}_Q [MW]	κ_W [%]	κ_Q [%]	C_W [\$ / MWh]	C_Q [\$ / Gcal]	\dot{D}_W [\$ / h]	\dot{D}_Q [\$ / h]	Energy [%]	Work [%]	Exergy [%]	
1) Energy			73.8	22.2	51.6	100.0	100.0	10.0	50.0	11.6	50.0	222	30.1	515	69.9
2.1) Proportional		85.0	72.8	21.2	51.6	95.6	100.0	9.7	48.9	11.8	51.1	215	29.2	522	70.8
2.2) "		99.9	85.5	33.9	51.6	152.7	100.0	13.2	60.4	10.0	39.6	292	39.7	444	60.3
3) Work	36.0		30.8	22.2	8.6	100.0	16.7	23.9	85.7	4.7	14.3	530	72.0	206	28.0
4.1) Equal Dist.	36.0	85.0	85.6	43.3	42.3	195.1	82.1	16.8	70.4	8.2	29.6	373	50.6	364	49.4
4.2) "	36.0	99.9	85.6	47.8	37.8	215.4	73.4	18.5	74.6	7.3	25.4	411	55.8	325	44.2
5.1) Benefit Dist.	36.0	85.0	122.3	61.7	60.7	277.8	117.6	16.7	70.2	8.2	29.8	371	50.4	365	49.6
5.2) "	36.0	99.9	113.3	61.7	51.7	277.8	100.2	18.1	73.5	7.6	26.5	401	54.4	336	45.6
6.1) Exergy			37.8	24.8	13.0	111.7	25.2	21.8	81.6	5.7	18.4	484	65.6	253	34.4
6.2) "			40.2	27.3	13.0	122.8	25.2	22.5	83.0	5.4	17.0	499	67.8	237	32.2
6.3) "			40.2	24.8	15.4	111.7	29.9	20.4	78.9	6.4	21.1	454	61.6	283	38.4

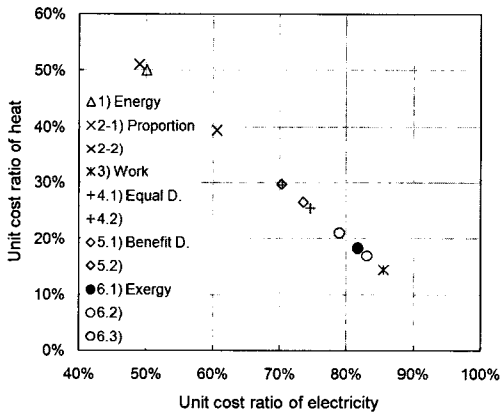


Fig. 2 Unit cost ratio from Table 2.

세 가지 방안이 존재한다. 먼저 열전용기기로 구분한다면 전기생산을 위한 엑서지 전달량 \dot{K}_W ($\dot{E}_{X, 1, 3, 10} - \dot{E}_{X, 2, 4, 11, 12, 13, 14}$)은 24.8 MW, 열생산을 위한 엑서지 전달량 \dot{K}_Q ($\dot{E}_{X, 30, 31, 32} - \dot{E}_{X, 33}$)은 13.0 MW, 그리고 공통기기로의 엑서지 유입량 \dot{K}_C ($\dot{K}_W + \dot{K}_Q$)⁽⁹⁾은 37.8 MW이므로 전기의 가치율 κ_W 은 111.7% 그리고 열의 가치율 κ_Q 은 25.2%로 평가된다. 만약 전기전용기기로 구분한다면, \dot{K}_C ($\dot{E}_{X, 5} -$)은 40.2 MW, \dot{K}_Q ($\dot{E}_{X, 30, 31, 32} - \dot{E}_{X, 33}$)은 13.0 MW, 그리고 \dot{K}_W ($\dot{K}_C - \dot{K}_Q$)⁽⁹⁾는 27.3

MW로써, κ_W 은 122.8% 그리고 κ_Q 은 25.2%로 평가된다. 마지막으로 열전용기기로 구분한다면, \dot{K}_C ($\dot{E}_{X, 5} - \dot{E}_{X, 6, 7}$)은 40.2 MW, \dot{K}_W ($\dot{E}_{X, 1, 3, 10} - \dot{E}_{X, 2, 4, 11, 12, 13, 14}$)은 24.8 MW, 그리고 \dot{K}_Q ($\dot{K}_C - \dot{K}_W$)⁽⁹⁾는 15.4 MW로써, κ_W 은 111.7% 그리고 κ_Q 은 29.9%로 평가된다. 위의 세 가지 방안 중에서, 구성기기 [4, 5, 7, 8, 19]를 전기전용기기로 구분할 경우 전기가치는 최대 열가치는 최소로 평가되고, 열전용기기로 구분할 경우 전기가치는 최소 열가치는 최대로 평가된다. 따라서 엑서지를 가치평가 기준으로 할 경우 그 값은 위의 값들 사이에 존재한다는 결론이 도출된다. 한편, 열병합발전에서의 작동유체는 열과 전기를 동시에 생산하는데 공헌하는 것이므로 구성기기 [4, 5, 7, 8, 19]를 공통기기로 구분하는 것이 타당할 것으로 판단한다.

4. 결과 및 토의

Table 2에는 연료의 투입비용에 대해, Table 1의 다양한 방법론과, 식(3)과 식(4)를 적용한 원가산정 결과 그리고 식(2)를 적용한 비용배분 결과가 나와 있다. 이 결과들 중에서 핵심은 식(5)와 같이 전기와 열에 대한 생산원가의 비율이며, Fig. 2에 도시되어 있다.

Table 3 Results of cost estimating by Eq. (6) and (7) and cost allocation by Eq. (2) on the fixed cost. Where, κ_W is 111.7% and κ_Q is 25.2%, \dot{W} is 22.2 MW, and \dot{Q} is 51.6 MW

Basic Cost Allocation		\dot{Z} [\$h]	\dot{Z}_{ID} [\$h]	\dot{Z}_C [\$h]	Unit Cost C			Cost Flow Rate \dot{D}	
					[\$/MWh]	[\$/Gcal]	[%]	[\$/h]	[%]
Indirect Common	ID C	1,418							
Electricity	W	221	931	97	65.4	56.2	83.0%	1,248	67.8%
Heat	Q	55	487	51	13.4	11.5	17.0%	593	32.2%
Overall		1,841	1,418	147				1,841	

Energy 방법에서는 전기와 열의 원가비를 50% : 50%로, Proportional 방법에서는 48.9% : 51.1% 또는 60.4% : 39.6%로, Work 방법에서는 85.7% : 14.3%로, Equal distribution 방법에서는 70.4% : 29.6% 또는 74.6% : 25.4%로, Benefit distribution 방법에서는 70.2% : 29.8% 또는 73.5% : 26.5%로, 그리고 엑서지를 적용한 계산에서는 81.6% : 18.4%로 산정되었다. 이 결과로부터 전기와 열의 원가 산출 방법론 중, Energy 방법과 Proportional 방법은 전기와 열의 원가가 서로 비슷하게 산정되므로 본 시스템의 원가산정에 그 타당성이 낮다고 판단한다. 반면, Work 방법, Equal distribution 방법, Benefit distribution 방법, 그리고 엑서지를 적용한 방법은 본 시스템에서 생산된 열과 전기의 가치를 타당성 있게 산정하고 있다고 판단한다.

그러나 엑서지를 제외한 나머지 방법들은 주어진 열병합발전을 해석하는 것이 아니라, 대체 시스템을 적용하는 것으로써, 대체전기효율 및 대체열효율 값에 임의성 및 자의성이 상당히 내포되어 있으므로 그 산정결과에 합리성 및 객관성이 결여된다고 여겨진다. 또한 가스터빈 열병합발전, 증기터빈 열병합발전, 복합 열병합발전 등 시스템의 다양성 그리고 열전비, 부하율, 계절별, 시간대별 등 운전방식의 다양성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 열역학 제 2법칙에 기반을 두고 있는 엑서지는 해석하고자 하는 그 시스템의 원가산정을 수행 즉 시스템 및 운전방식의 다양성을 실시간 반영하므로, 합리성과 범용성이 우수하다고 판단한다.

Table 3에는 고정비용에 대해 식(6)과 식(7)을 적용한 원가산정 및 식(2)를 적용한 비용배분 결과가 나와 있다. 여기서 고정비용흐름은 정액법,

정율법 등과 같이 경제학적 방법으로부터 사전에 주어지는 값들이다. 본 해석에서는 시스템 외부로부터 1,418 \$/h의 간접비가 투입되고, 각 구성기기의 직접비로써 147 \$/h의 공통기기비용, 221 \$/h의 전기전용기기비용, 그리고 55 \$/h의 열전용기기비용이 투입된다고 가정하였다. 여기서 1,418 \$/h의 간접비와 147 \$/h의 공통기기비용을 전기비용과 열비용으로 배분시켜야 하며, 그 기준은 수식에서 이해할 수 있듯이 연료에 대한 비용 배분율과 같다.

5. 결 론

선행연구에서 제안한 가치방법의 정의는 각 제품의 원가는 그 가치에 비례한다이며, 어떠한 산출제품일지라도 적용할 수 있다고 제안하였다. 그 적용은 1단계 시스템 해석, 2단계 각 제품의 가치평가, 3단계 원가산정, 그리고 4단계 공통비배분으로 이루어지며, 열병합발전에서 엔탈피, 대체열, 대체전기, 동일연료절약량, 대체연료, 그리고 엑서지가 열과 전기의 가치평가 기준으로써 제시되었다.

본 연구에서는 제안된 방법을 22.2 MW의 전기와 51.6 MW(44.4 Gcal/h)의 열을 생산하는 증기터빈 열병합발전에서 적용하였으며, 해석결과 전기와 열의 원가비는 엔탈피 기준일 경우 50% : 50%로, 대체열 기준일 경우 48.9% : 51.1% 또는 60.4% : 39.6%로, 대체전기 기준일 경우 85.7% : 14.3%로, 동일연료절약량 기준일 경우 70.4% : 29.6% 또는 74.6% : 25.4%로, 대체연료 기준일 경우 70.2% : 29.8% 또는 73.5% : 26.5%로, 그리고 엑서지 기준일 경우 81.6% : 18.4%로 산정되었다.

제안된 이론은 다양한 원가산정 결과를 제시하

며, 이 중에서의 선택은 생산자와 구매자 즉 당사자가 합의해야 할 사항이므로, 본 연구에서 조차 그 옳고 그름을 결정지을 수는 없다. 하지만, 엑서지적 기준은 열역학 제 1법칙과 제 2법칙을 기반으로 해석대상의 시스템을 실시간 그리고 직접적으로 가치평가하므로 합리성과 객관성을 충분히 갖추고 있다고 판단하며, 향후 다양한 복합 에너지 시스템을 대상으로 각 방법론을 보다 세부적으로 비교 검토할 예정이다.

참고문헌

1. Carolyn, G., 2003, Regulation of heat and electricity produced in combined-heat-and-power plants, The world bank, Washington, D. C.
2. Lozano, M. A. and Valero, A., 1993, Theory of the exergetic cost, Energy, Vol. 18, No. 9, pp. 939-960.
3. Valero, A., Lozano, M. A., Serra, L. and Torres, C., 1994, Application of the exergetic cost theory to the CGAM problem, Energy, Vol. 19, No. 3, pp. 365-381.
4. Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M. J., 1996, Thermal design and optimization, Wiley, New York.
5. Tsatsaronis, G. and Pisa, J., 1994, Exergoeconomic evaluation and optimization of energy systems-application to the CGAM problem, Energy, Vol. 19, No. 3, pp. 287-321.
6. Lazzaretto, A. and Tsatsaronis, G., 2006, SP-ECO : a systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems, Energy, Vol. 31, No. 5, pp. 1257-1289.
7. Oh, S. D., Pang, H. S., Kim, S. M. and Kwak, H. Y., 1996, Exergy analysis for a gas turbine cogeneration system, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 118, pp. 781-791.
8. Kim, S. M., Oh, S. D., Kwon, Y. H. and Kwak, H. Y., 1998, Exergoeconomic analysis of thermal systems, Energy, Vol. 23, No. 5, pp. 393-406.
9. Kim, D. J., 2003, Suggestion of Power and Heat Costing for an Energy System, Korean journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 5, p. 360-371.
10. Kim, D. J., 2008, A new cost allocation method on the multi-products of energy systems, Report of Enecos Inc. Available on : www.enecos.com.