

증기터빈 열병합발전에서 공통비 배분

김덕진 †

Common Cost Allocation on Steam-Turbine Cogeneration

Deok-Jin Kim

Key Words : Reversible work(가역일), Cogeneration(열병합발전), Unit cost(원가), Cost estimating(원가산정), Cost allocation(비용배분), Heating price(열요금)

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 evaluation 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 evaluation method to a steam-turbine cogeneration which produces 63.5 MW of electricity and 280 Gcal/h of heat, and then we allocated 1,556 \$/h of common cost of fuel to electricity cost and heat cost. Also, we compared with various cost allocation methods. As the result, we conclude that the reversible work of various kinds of energy evaluates the worth of heat and electricity most reasonably.

1. 서론

단일 시스템으로부터 두 종류 이상의 제품이 생산될 경우, 연료종류, 발전방식, 운전방식 등에 따른 각 제품으로의 원가산정(Cost estimating) 및 공통비배분(Common cost allocation) 방법론은 생산자와 구매자의 손익에 직접적으로 관계되기 때문에 매우 중요하다. 대표적인 복합생산물은 열병합발전(CHP, Cogeneration)에서 생산된 전기와 열이며, 공통비로는 연료비, 동력비, 용수비, 인건비, 초기투자비, 감가상각비, 유지보수비, 각종 세액 등이 해당 된다.

우리나라의 경우 1986년 서울화력발전소에 대한 한국산업개발연구원의 남서울지역난방사업의 열요금 산정 연구를 시작으로, 에너지경제연구원 등을

중심으로 전기요금, 난방요금, 냉방요금, 냉수요금 등의 다양한 요금책정 및 비용배분 연구가 진행되고 있다.

열병합발전에서 생산된 열과 전기에 대한 대표적인 원가산정 및 비용배분 방법론에는 The world bank 사의 기술보고서⁽¹⁾에서 소개되어 있듯이, Energy 방법, Proportional 방법, Work 방법, Equal distribution 방법, Benefit distribution 방법, Alternative heat 방법, Alternative electricity 방법 등이 있으며, 일반적으로 국내에서 감발량보상방식이라 불리는 Work 방법과 E.Shuly 방식이라 불리는 Benefit distribution 방법이 열병합발전의 열과 전기의 비용배분에 많이 적용되고 있다.

한편, Reversible work 방법이라는 새로운 방법론을 선행연구에서 제안⁽²⁾하였고, 이 방법론과 The world bank 사의 기술보고서⁽¹⁾에서 소개된 방법론을 통합한 가치평가방법론(Worth evaluation methodology)을 제안⁽²⁾하여, 22.2 MW의 전기와 44.4 Gcal/h의 온수를 생산하는 증기터빈열병합발전⁽³⁾에 적용

† 회원, 에너코스

E-mail : enecos@hotmail.com

TEL : (061)793-2730 FAX : (061)794-2730

Table 1 Unification of previous methods to worth evaluation method

Allocation methods	Worth energy	Worth energy input to working fluid \dot{K}_C	Worth energy input to		Worth ratio	
			Electricity \dot{K}_W	Heat \dot{K}_Q	κ_W	κ_Q
Energy	enthalpy	$\dot{W} + \dot{Q}$	\dot{W}	\dot{Q}	$\frac{\dot{W}}{\dot{W}}$	$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}}$
Proportional	alternative heat	$\dot{F} \cdot \eta_{A,Q}$	$\dot{F} \cdot \eta_{A,Q} - \dot{Q}$	\dot{Q}	$\frac{\dot{F} \cdot \eta_{A,Q} - \dot{Q}}{\dot{W}}$	100%
Work	alternative electricity	$\dot{F} \cdot \eta_{A,W}$	\dot{W}	$\dot{F} \cdot \eta_{A,W} - \dot{W}$	$\frac{\dot{W}}{\dot{W}}$	$\frac{\dot{F} \cdot \eta_{A,W} - \dot{W}}{\dot{Q}}$
Equal distribution	equal fuel saving(\dot{M})	\dot{F}	$\frac{\dot{W}}{\eta_{A,W}} - \frac{\dot{M}}{2}$	$\frac{\dot{Q}}{\eta_{A,Q}} - \frac{\dot{M}}{2}$	$\frac{1}{\eta_{A,W}} - \frac{\dot{M}}{2\dot{W}}$	$\frac{1}{\eta_{A,Q}} - \frac{\dot{M}}{2\dot{Q}}$
Benefit distribution	alternative fuel	$\frac{\dot{W}}{\eta_{A,W}} + \frac{\dot{Q}}{\eta_{A,Q}}$	$\frac{\dot{W}}{\eta_{A,W}}$	$\frac{\dot{Q}}{\eta_{A,Q}}$	$\frac{1}{\eta_{A,W}}$	$\frac{1}{\eta_{A,Q}}$
Reversible work	reversible work	$\dot{R}_W + \dot{R}_Q$	\dot{R}_W	\dot{R}_Q	$\frac{\dot{R}_W}{\dot{W}}$	$\frac{\dot{R}_Q}{\dot{Q}}$

하여 전기와 온수의 원가산정 및 공동비배분을 수행한바 있다.

가치평가방법론은 각 제품의 원가는 그 가치에 비례한다고 정의되며, 유형의 제품뿐만 아니라 무형의 서비스까지 다양하게 적용되어 각 제품으로의 원가산정 및 비용배분을 수행할 수 있다는 것이 기존 방법론에 비해 가장 큰 특징이다.

제안된 방법론의 범용성과 합리성을 확인하기 위해서는 다양한 시스템에 적용하여 그 원가산정과 비용배분 결과를 비교 검토해야 하는바, 본 연구에서는 전기 228.5 GJ/h(63.5 MW)와 온수 1,171 GJ/h(280 Gcal/h)를 생산하는 증기터빈 열병합발전을 대상으로, 연료 투입비 1,556 \$/h 를 전기와 온수로 각각 배분하여 그 원가산정 및 비용배분을 수행하고, 기존의 방법론들과 결과를 비교 검토하고자 한다.

2. 생산품의 가치평가

선행 연구⁽³⁾에서 제안한 바와 같이 가치평가방법의 정의는 생산원가는 제품의 가치에 비례한다이며, 연료의 투입비용에 대한 전기의 원가산정 수식은 식(1), 열의 원가산정 수식은 식(2), 그리고 전기와 열의 원가비는 식(3)과 같이 표현된다. 또한 산정된 원가로부터 전기로의 연료비 배분 수식은 식(4) 그리고 열로의 연료비 배분 수식은 식(5)로 표현된다.

$$C_W = \kappa_W \cdot \frac{\dot{D}_F}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}}, \quad \kappa_W = \frac{\dot{K}_W}{\dot{W}} \quad (1)$$

$$C_Q = \kappa_Q \cdot \frac{\dot{D}_F}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}}, \quad \kappa_Q = \frac{\dot{K}_Q}{\dot{Q}} \quad (2)$$

$$C_W : C_Q = \frac{\kappa_W}{\kappa_W + \kappa_Q} : \frac{\kappa_Q}{\kappa_W + \kappa_Q} \quad (3)$$

$$\dot{D}_W = C_W \cdot \dot{W} \quad (4)$$

$$\dot{D}_Q = C_Q \cdot \dot{Q} \quad (5)$$

여기서, C_W 는 전기원가, C_Q 는 열원가, \dot{D}_W 는 전기생산비용, \dot{D}_Q 는 열생산비용, \dot{W} 는 전기생산량, \dot{Q} 는 열생산량, \dot{D}_F 는 연료의 투입비용, \dot{K}_W 는 전기생산을 위해 투입된 어떤 가치에너지, \dot{K}_Q 는 열생산을 위해 투입된 어떤 가치에너지, κ_W 는 전기의 가치율, κ_Q 는 열의 가치율이다. 위

수식에서 가치에너지 \dot{K} 또는 가치율 κ 을 제외하면 모두 사전에 주어지는 값들이므로, 이 가치에너지를 결정하는 방법이 본 방법론의 핵심이다.

가치에너지 \dot{K} 란 생산된 전기와 열의 가치를 동급으로 평가하기 위해 본 방법론에서 제시하는 어떤 에너지이며, 가치율 κ 은 가치에너지량과 생산된 에너지량과의 비이다. 열병합발전의 경우 전기와 열의 가치를 동급으로 평가할 수 있는 어떤

에너지를 Table 1 에 정리하였으며, 가치에너지로서 엔탈피(Enthalpy), 대체열(Alternative heat), 대체전기(Alternative electricity), 대체연료(Alternative fuel), 동일연료절약량(Equal fuel saving), 가역일(Reversible work)을 적용⁽²⁾할 수 있다. 여기서, 가치에너지로서 엔탈피를 적용할 경우 기존의 Energy 방법과, 대체열을 적용할 경우 기존의 Proportional 방법과, 대체전기를 적용할 경우 기존의 Work 방법과, 대체연료를 적용할 경우 기존의 Benefit distribution 방법과, 동일연료절약량을 적용할 경우 기존의 Equal distribution 방법과 그 계산결과가 동일하다. 위의 방법론들은 회계학적인 방법론들로서 공학에서는 다루지 않고 있다. 따라서 공학적으로 접근하는 방법론이 새로이 제안될 수 있으며, 선행연구⁽²⁾에서 가치에너지로서 열역학 제 1 법칙과 제 2 법칙으로부터 유도되는 가역일(Reversible work)을 제안하였다. 가치평가방법론은 기존 방법론뿐만 아니라 제안된 방법론까지 모두 포함한 방법론이다. 즉 가치에너지라는 통합된 설명 방식과 식(1)과 식(2)의 동일한 수식을 적용하므로 명확하고 다양하게 원가산정 및 비용배분을 수행할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

Table 1 에는 각 방법론에 따른 가치에너지 \dot{K} 와 가치율 κ 이 정리되어 있다. 즉 이 값을 식(1)에 대입하면 전기원가 C_w 그리고 식(2)에 대입하면 열원가 C_Q 를 산정할 수 있다. 여기서, \dot{F} 는 연료의 투입열량, $\eta_{A,W}$ 는 어떤 전기생산시스템의 전기생산효율, $\eta_{A,Q}$ 는 어떤 열전용보일러에서의 열생산효율이며, 각각 대체전기효율, 대체열효율이라 불린다. 한편 Reversible work 방법을 적용하기 위해서는 전기를 생산하기 위해 투입된 가역일 \dot{R}_w 과 열을 생산하기 위해 투입된 가역일 \dot{R}_Q 값이 사전에 주어져야 하며, 열역학적인 시스템 해석이 필요하다.

위의 방법론들 중에서 현재 Work 방법 즉 감소된 발전량만큼 열측에 보상하는 감발량보상방식과 Benefit distribution 방법 즉 대체전기를 생산하기 위한 대체연료량과 대체열을 생산하기 위한 대체연료량과의 비로 배분하는 E.Shuly 방식이 가장 널리 적용되고 있다. 원가산정 및 비용배분은 현재 회계학 분야에서 수행하고 있으며, 대체전기효율과 대체열효율이 핵심 인자이다. 그러나 Reversible work 방법론과 같이 주어진 열병합시스템 그 자체를 열공학적으로 해석해야 하는 것이 가장 합리적이다 라 판단한다.

3. 가역일 계산을 위한 시스템 해석

Reversible work 방법을 적용하기 위해서는 주어진 시스템을 열역학적으로 해석하는 것이 필수이며, 열역학 제 1 법칙과 제 2 법칙의 혼합으로부터 가역일 \dot{W}_{REV} 의 수식⁽⁴⁾이 유도된다.

$$\begin{aligned} \dot{W}_{REV} = & -\frac{d}{dt}(E_{CV} - T_0 S_{CV}) \\ & + \sum_{input} (\dot{H}_i - T_0 \dot{S}_i) - \sum_{output} (\dot{H}_o - T_0 \dot{S}_o) \quad (6) \\ & + \sum \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \end{aligned}$$

여기서, T_0 는 환경상태의 온도이며, 우변의 첫 제항은 연소의 화학반응을 포함한 내부가역일, 둘째항은 유체의 입출에 따른 가역일, 셋째항은 외부와의 열전달에 의한 가역일이다. Reversible work 방법에서의 가역일은 전기 또는 열을 생산하기 위해 작동유체에서 투입된 가역일을 적용하므로 식(6)의 첫째항과 셋째항은 사라지며, 둘째항에서도 증기터빈열병합의 작동유체에 대해서만 적용한다.

보일러 [1], 터빈 [2], 펌프 [3], 히터 [4], 열교환기 [8], 기타구성기기 [9] 로 구성된 Fig. 1 의 증기터빈 열병합발전은 1,592 GJ/h 의 연료 \dot{F} 를 투입받아 228.5 GJ/h 의 전기 \dot{W} 와 1,171 GJ/h 의 온수 \dot{Q} 를 생산하는 전체효율 90%의 시스템이다. 시스템 해석을 위해 폐사에서 자체 개발한 SteamPlan 소프트웨어를 이용하였으며, Fig. 1 에 시스템의 개략도와 T-s 선도 상에 시스템의 운전상태가 출력되어 있다.

주어진 시스템에서 전기전용기기는 터빈 [2]과 펌프[3]이며, 열전용기기는 열교환기 [8]이다. 이 구성기기에 대해 투입된 가역일은 다음의 수식으로 계산된다.

$$\begin{aligned} \dot{R}_w = & (\dot{H}_{1,3,7} - \dot{H}_{2,4,5,8,9}) \\ & - T_0 (\dot{S}_{1,3,7} - \dot{S}_{2,4,5,8,9}) \quad (7) \end{aligned}$$

$$\dot{R}_Q = (\dot{H}_{10,11} - \dot{H}_{12}) - T_0 (\dot{S}_{10,11} - \dot{S}_{12}) \quad (8)$$

여기서, T_0 는 15℃를 적용하였으며, 시스템 해석 결과 \dot{R}_w 는 249.9 GJ/h 그리고 \dot{R}_Q 는 354.3 GJ/h 로 계산되었다.

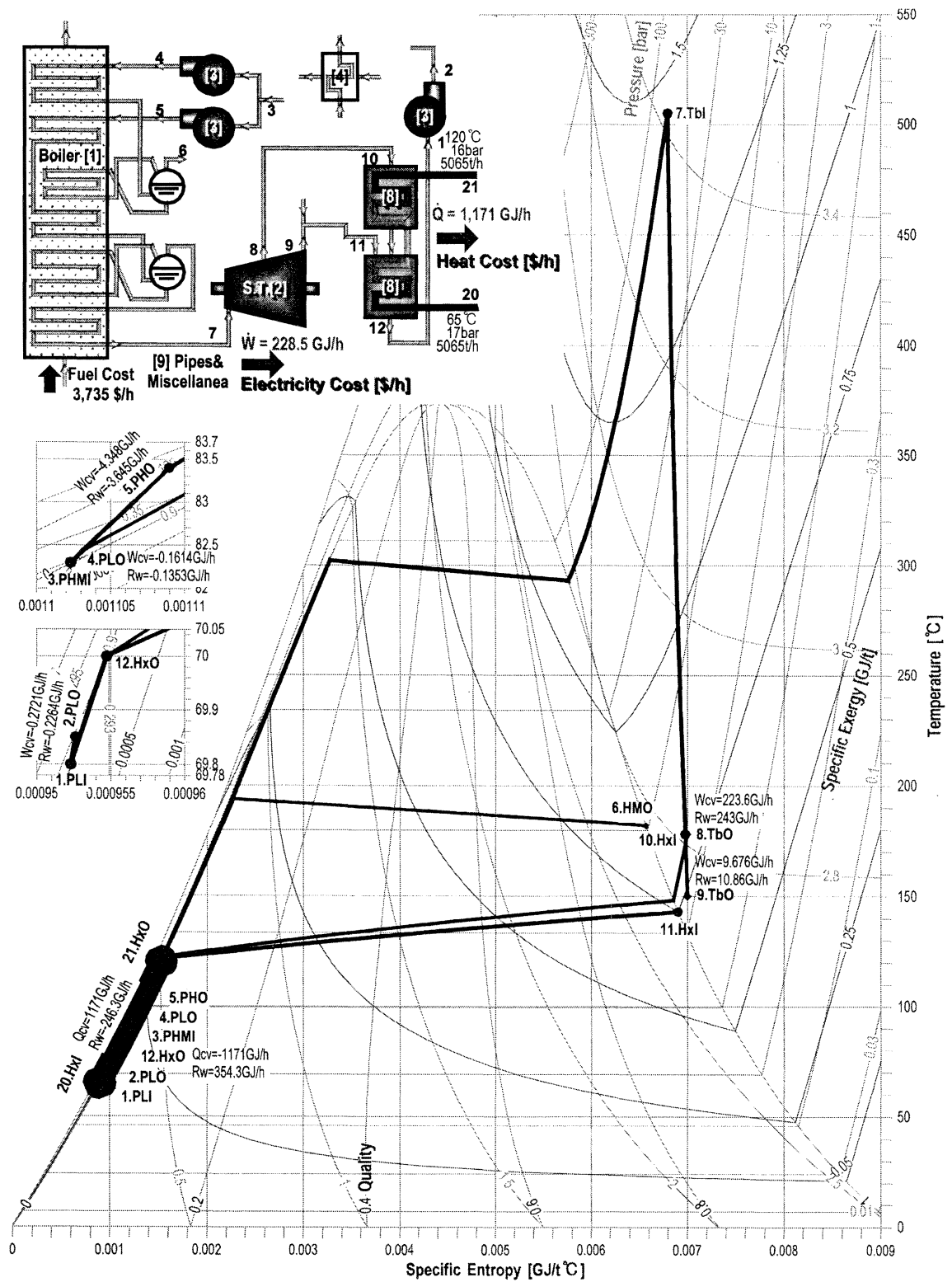


Fig. 1 Schematic diagram of steam-turbine cogeneration and the operating condition on T-s chart.

Table 2 Results of cost allocation applying Table 1 on the fuel cost. Where, \dot{D}_F is 3,735 \$/h, \dot{F} is 1,556 GJ/h, \dot{W} is 228.5 GJ/h, \dot{Q} is 1,171 GJ/h, \dot{R}_W is 249.9 GJ/h, and \dot{R}_Q is 354.3 GJ/h.

Cost Allocation		η_{AW}	η_{AQ}	\dot{K}_C	\dot{K}_W	\dot{K}_Q	κ_W	κ_Q	C_W		C_Q		\dot{D}_W		\dot{D}_Q	
Method		[%]	[%]	[GJ/h]	[GJ/h]	[GJ/h]	[%]	[%]	[\$/MWh]	[%]	[\$/Gcal]	[%]	[\$/h]	[%]	[\$/h]	[%]
1)	Energy			1,399	228.5	1,171	100.0	100.0	9.6	50.0	11.2	50.0	610	47.4	16.3	83.7
2)	Proportional		90	1,401	229.7	1,171	100.5	100.0	9.7	50.1	11.2	49.9	613	49.2	16.4	83.6
3)	Work	33		514	228.5	285	100.0	24.3	26.2	80.4	7.4	19.6	1,662	100.0	44.5	55.5
4)	Equal dist.	33	90	1,556	473.8	1,083	207.4	92.4	17.9	69.2	9.3	30.8	1,137	74.6	30.4	69.6
5)	Benefit dist.	33	90	1,994	692.4	1,301	303.0	111.1	20.4	73.2	8.7	26.8	1,297	66.3	34.7	65.3
6)	Exergy			604	249.9	354.3	109.3	30.3	24.3	78.3	7.8	21.7	1,545	66.0	41.4	58.6

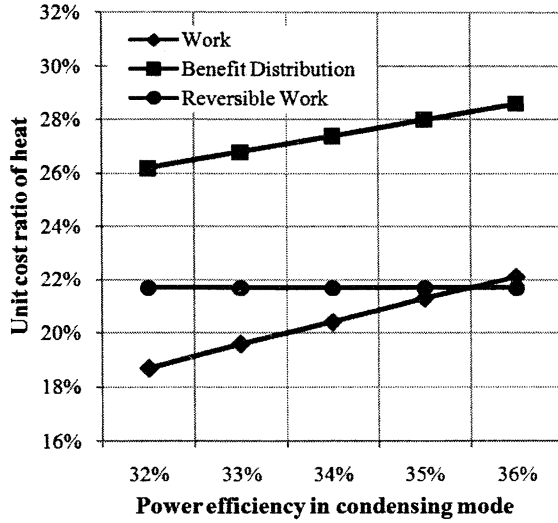


Fig. 2 Unit cost ratio of heat on power efficiency.

4. 전기와 열의 비용배분

열과 전기의 원가산정 및 비용배분을 위해서는 Table 1 과 같이 생산품의 가치를 κ_W , κ_Q 을 선행 결정해야 하며, Energy 방법과 Reversible work 방법을 제외하고 대체전기효율 $\eta_{A,W}$ 또는 대체열효율 $\eta_{A,Q}$ 값이 필요로 된다. 본 연구에서는 대체전기효율로 컨덴싱모드에서의 전기효율 33%, 대체열효율 값으로 임의의 보일러 효율 90%를 적용하고자 한다. 연료의 투입량은 1,556 GJ/h 이며, 석탄의 단가 2.4 \$/GJ 를 적용하면, 연료투입비용 \dot{D}_F 은 3,735 \$/h 이다. 시스템 해석 결과 전기생산량 \dot{W} 은 228.5 GJ/h, 열생산량 \dot{Q} 은 1,171 GJ/h, 전기생산

을 위해 투입된 가역일 \dot{R}_W 은 249.9 GJ/h, 그리고 열생산을 위해 투입된 가역일 \dot{R}_Q 은 354.3 GJ/h 이다. 이 결과를 Table 1 의 각 방법론에 적용하면 가치를 κ_W , κ_Q 을 계산할 수 있고, 이 값을 식(1)에 적용하면 전기원가 C_W , 식(2)에 적용하면 열원가 C_Q , 식(3)에 적용하면 전기와 열의 원가비를 산정할 수 있고, 식(4)에 적용하면 전기생산비용 \dot{D}_W , 식(5)에 적용하면 열생산비용 \dot{D}_Q 으로 배분할 수 있다.

일반적으로 판매요금은 기본요금과 사용요금으로 나뉘어 진다. 이와 같이 원가 또한 변동비원가와 고정비원가로 나눌 수 있으며, 변동비원가에는 연료가 그리고 고정비원가에는 구성기기비, 인건비, 초기투자비 등이 해당된다. 식(1)과 식(2)는 연료에 대한 변동비원가를 산정한 것이며, 고정비원가에 대해서는 식(9)와 식(10)으로 산정할 수 있다.

$$C_W = \kappa_W \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_C}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}} + \frac{\dot{Z}_W}{\dot{W}} \quad (9)$$

$$C_Q = \kappa_Q \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_C}{\kappa_W \dot{W} + \kappa_Q \dot{Q}} + \frac{\dot{Z}_Q}{\dot{Q}} \quad (10)$$

여기서, \dot{Z}_{ID} 는 간접비에 대한 비용흐름, \dot{Z}_C 는 전기생산과 열생산에 공동으로 관여하는 구성기기의 비용흐름, \dot{Z}_W 는 전기생산을 위한 전용기기의 비용흐름, 그리고 \dot{Z}_Q 는 열생산을 위한 전용기기의 비용흐름이다. 이 비용흐름들은 정률법이나 정액법등의 회계학적 방법으로 사전에 주어지는 값들이며, 일반적으로 총비용흐름에서 20~50% 정도이다.

5. 결과 및 토의

Table 2 에는 석탄의 구매단가 10 \$/Gcal(2.4 \$/GJ)의 연료투입비용 3,735 \$/h에 대해, Table 1의 다양한 방법론을 적용한 가치에너지량 \dot{K} 과 가치를 κ , 식(1)과 식(2)를 적용한 전기원가 C_W 와 열원가 C_Q , 식(3)을 적용한 원가비 $C_W : C_Q$ 그리고 식(4)를 적용한 전기비용흐름 \dot{D}_W 과 식(5)를 적용한 열비용흐름 \dot{D}_Q 을 계산한 결과가 나와 있다. 이 결과들 중에서 핵심은 전기와 열에 대한 생산원가의 비이다.

Energy 방법에서는 전기와 열의 원가비를 50% : 50%, Proportional 방법에서는 50.1% : 49.9%, Work 방법에서는 80.4% : 19.6%, Equal distribution 방법에서는 69.2% : 30.8%, Benefit distribution 방법에서는 73.2% : 26.8%, 그리고 Reversible work 방법에서는 78.3% : 21.7%로 산정되었다. 이 결과로부터 전기와 열의 원가산정 방법론 중, Energy 방법은 전기와 열의 원가가 같다고 산정되고, Proportional 방법은 전기와 열의 원가가 서로 비슷하게 산정되므로 이 방법론들은 본 시스템의 원가산정에 그 타당성이 낮다고 판단된다. 반면, Work 방법, Equal distribution 방법, Benefit distribution 방법, 그리고 Reversible work 방법은 본 시스템에서 생산된 열과 전기의 원가비를 타당성 있게 산정하고 있다고 판단된다. 그러나 Reversible work 방법을 제외한 나머지 방법들은 주어진 열병합발전을 해석하는 것이 아니라, 대체 시스템을 적용하는 회계학적 방법으로서, 그 산정결과의 합리성 및 객관성이 공학적 측면에서 부족하다고 여겨진다. 또한 가스 터빈 열병합발전, 증기터빈 열병합발전, 복합 열병합발전 등 시스템의 다양성 그리고 열전비, 부하율, 계절별, 시간대별 등 운전방식의 다양성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 열역학 제 2 법칙에 기반을 두고 있는 가역일은 해석하고자 하는 시스템의 원가산정을 공학적 측면에서 수행 즉 시스템 및 운전방식의 다양성을 실시간 반영하므로, 합리성과 범용성을 충분히 갖추고 있다고 판단한다.

회계학적 방법론에서 대체전기효율 $\eta_{A,W}$ 값은 상당히 중요한 인자이다. 본 해석에서 이 값으로 컨덴싱모드에서의 전기효율 33%를 적용하였으며, 추가적으로 32%~36% 범위의 값을 해석하여 Fig. 2에 도시하였다. 그림에서 보여지듯이 회계학적 방법론의 산정결과는 대체전기효율 값에 상당히 민감하다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

선행연구에서 제안한 가치평가방법의 정의는 각 제품의 원가는 그 가치에 비례한다이며, 다양한 시스템의 생산품에 적용할 수 있다고 제안하였다. 그 적용은 1 단계 시스템 해석, 2 단계 열과 전기의 가치평가, 3 단계 원가산정, 4 단계 공동비배분으로 수행되며, 열병합발전에서 엔탈피, 대체열, 대체전기, 동일연료절약량, 대체연료, 그리고 가역일을 열과 전기의 가치평가 기준으로 제시하였다.

본 연구에서는 제안된 방법을 228.5 GJ/h(63.5 MW)의 전기와 1,171 GJ/h(279.7 Gcal/h)의 온수를 생산하는 전체효율 90%의 증기터빈 열병합발전에 적용하였으며, 해석결과 전기와 열의 원가비는 엔탈피 기준일 경우 50% : 50%, 대체열 기준일 경우 50.1% : 49.9%, 대체전기 기준일 경우 80.4% : 19.6%, 동일연료절약량 기준일 경우 69.2% : 30.8%, 대체연료 기준일 경우 73.2% : 26.8%, 그리고 가역일 기준일 경우 78.3% : 21.7%로 산정되었다.

제안된 이론은 다양한 원가산정 결과를 제시하며, 이 중에서의 선택은 생산자와 구매자 즉 당사자가 합의해야 할 사항이므로, 본 연구에서 조차 그 옳고 그름을 결정지을 수는 없다. 그러나 가역일 기준은 열역학 제 1 법칙과 제 2 법칙을 기반으로 해석대상의 시스템을 실시간 그리고 직접적으로 가치평가함으로 합리성과 객관성을 충분히 갖추고 있다고 판단한다.

제안된 방법론의 범용성과 합리성을 확인하기 위해서는 다양한 시스템에 적용하여 그 원가산정과 비용배분 결과를 비교 검토해야 하는바, 향후 다양한 복합 에너지 시스템을 대상으로 각 방법론을 보다 세부적으로 비교 검토하여, 본 방법론의 합리성 및 범용성을 지속적으로 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) Kim, D. J., 2008, *A new cost allocation method on the multi-products of energy systems*, Available on: www.enecos.com
- (3) Kim, D. J., 2008, Cost allocation of heat and electricity on a steam-turbine cogeneration, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 20, No. 9, pp. 624-630.
- (4) Adrian, B., 1988, *Advanced Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons, pp. 113.