

냉방시스템에서 생산된 냉기의 가격배분 방법론 제안

김 덕 진[†]

에너코스

A Suggestion for the Cost Allocation Methodology of Cool Air Produced from Cooling System

Deok-Jin Kim[†]

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

ABSTRACT: Our government will make a plan regulating the cooling limit temperature of the summer season to 26 degree and the heating limit temperature of the winter season to 20 degree for energy saving. Where, the key point of this politic pursuit can be the charge system on heating and cooling cost. We have suggested new cost allocation methodology as a worth evaluation method in the precedent study, and preformed the worth evaluation and cost allocation on four kind of warm air produced from a heating system as an example. In this study, we applied the suggested method to four kind of cooling air as an example, and preformed the worth evaluation and cost allocation on each cooling air. As a result, similarly to the precedent study, the more energy a customer saved, the more heating unit cost decreased, and the more energy a customer consumed, the more heating unit cost increased. From this analysis, we hope that the suggested methodology can offer a theoretical basis to the politic pursuit of government, and induce the spontaneous energy saving of consumers.

Key words: Worth(가치), Cool air(냉기), Warm air(온기), Cooling cost(냉방비), Heating cost(난방비), Unit cost(원가), Cost estimating(원가산정), Cost allocation(비용배분)

기 호 설 명

C : 에너지원가 [\$/GJ]
 \dot{D} : 비용흐름 [\$/h]
 e_x : 비엑서지 [MJ/t']
 \dot{G} : 건공기의 질량흐름 [t'/h]
 h : 비엔탈피 [MJ/t']
 \dot{K} : 가치에너지 전달량 [MJ/h]
 \dot{P} : 에너지 산출량 [MJ/h]
 PPD : 예상불만족률 [%]

\dot{Q} : 열량 [MJ/h]
 \dot{Z} : 간접비 및 구성기기의 비용흐름 [\$/h]

그리스 문자

κ : 가치율

하첨자

A : 실 A
 B : 실 B
 C : 실 C
 D : 실 D
 DC : 냉기 생산에 대한 공통구성기기

[†] Corresponding author

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

E-mail address: enecos@hotmail.com

- ES : 열원
- F : 고정비 원가
- i : i 번째 생산품
- ID : 간접비
- t : 실 A, B, C, D의 합
- U : 변동비 원가

1. 서론

2008년 현재 정부는 연료비 상승 및 국제 가격 등을 감안하여 에너지 가격체계를 재조정하고, 여름철 냉방온도 하한선을 26℃, 겨울철 난방온도 상한선을 20℃로 규제하여 이를 어기면 과태료를 부과하는 등의 에너지 절감을 위한 각종 대책을 계획하고 있다. 여기서 이러한 정책 추진의 핵심은 에너지 판매 요금이라 할 수 있으며, 아무리 그 의도가 좋다 할지라도 판매 단가가 불합리하게 책정됐다고 판단한다면 소비자의 불만이 있을 수밖에 없을 것이다.

소비자에게 판매되는 에너지는 일반적으로 전기와 열이다. 만약, 단일시스템으로부터 하나의 에너지만 생산한다면 투입된 금액과 산출된 금액은 서로 같다는 수식으로부터 그 생산품의 원가를 쉽게 산정할 수 있고, 그 원가를 기준으로 판매가를 책정할 수 있을 것이다. 그러나 단일시스템으로부터 전기와 열 즉 이중 에너지가 생산된다면, 각 산출품의 원가를 산정하기 쉽지 않고, 더 나아가 산정된 원가에 합리성이 결여된다고 판단한다면 생산자 또는 구매자의 반발이 필연적일 것이다. 따라서 생산된 복합 에너지의 원가를 합리적으로 산정할 수 있는 수식 개발이 절실히 필요하다.

대표적인 복합 에너지시스템은 전기와 열을 동시에 생산하는 열병합발전이며, The World Bank사의 Technical Paper⁽¹⁾에서 다양한 회계학적 방법론을 소개하고 있다. 그러나 증기, 온수, 냉수, 온기, 냉기, 열음 등의 동종의 열이지만 온도 또는 압력이 서로 다른 생산품일 경우, 더 나아가 열병합발전 이외의 복합에너지시스템일 경우 각 제품에 대한 원가 산정 수식은 아직 학문적으로 제안되지 않은 듯하다.

이에 우리는 열병합발전, 보일러, 열교환기, 난방시스템, 연료전지 등의 복합에너지 시스템에 적용할 수 있는 가치평가방법⁽²⁾이라는 새로운 원

가산정 방법론을 선행연구에서 제안한 바 있으며, 22.2 MW의 전기와 44.4 Gcal/h의 열을 생산하는 증기터빈열병합발전⁽³⁾ 그리고 4개의 실에 온기를 배분하는 난방시스템⁽⁴⁾에 적용하고 각 생산품의 원가산정 및 비용배분을 수행한 바 있다. 본 연구에서는 다양한 에너지 시스템 중 쾌적환경을 제어하는 난방시스템을 대상으로 선행연구에서 제안하였던 원가산정 방법론을 적용하여 냉기의 원가 및 난방비 배분을 수행하고자 하며, 이 결과로부터 정부가 정책적으로 추진 중인 에너지 요금 체계 개선 및 에너지 절감 대책에 학문적 근거를 제공해 줄 수 있기를 기대한다.

2. 냉기의 가치평가 및 원가산정 방법론

선행 연구⁽²⁾에서 제안한 바와 같이 가치평가방법의 정의는 생산원가는 제품의 가치에 비례한다이며, 그 원가산정 수식 및 공통비 투입에 대한 비용배분 수식은 다음과 같다.

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

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

여기서, 하첨자 i 는 N 개의 생산 제품 중 i 번째 생산품, 기호 C 는 생산원가, κ_i 은 전달된 가치에너지량 \dot{K}_i 과 생산된 에너지량 \dot{P}_i 과의 비 또는 가치율, \dot{D}_{ES} 는 열원의 투입비용, \dot{Z}_{ID} 는 시스템 외적인 간접비용, \dot{Z}_{DC} 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 비용을 뜻한다.

위 수식에서 가치율 κ_i 또는 가치에너지 \dot{K}_i 를 제외하면 모두 사전에 주어지는 값이므로, 이 값들을 결정하는 것이 본 방법론의 핵심이다. 여기서 가치에너지란 생산된 각 에너지의 가치를 동급으로 비교하기 위한 어떤 에너지이며, 열병합 시스템일 경우 선행 연구^(2,3)에서 제안한 바와 같이 엔탈피, 대체전기, 대체열, 대체연료, 동일연료 절약량, 가역일 등이 그 기준에 적용된다. 또한

서로 다른 온도와 습도를 갖는 온기 및 냉기들의 각 가치를 평가하는 방법론 역시 선행연구⁽⁴⁾에서 제안한 바와 같이 가치에너지로서 질량(Mass), 엔탈피(Enthalpy), 엑서지(Exergy) 등이, 그리고 가치율로서 예상불만족률(PPD)⁽⁵⁾, 건구온도 등의 열쾌적지표(Thermal Comfort Index)⁽⁵⁾ 등이 그 기준에 적용된다. 여기서, 위의 값들은 공학적으로 정립된 수식들이고, 또한 선행연구에서 세부적으로 논의 한바 그 설명은 생략하기로 한다.

제안된 방법론의 핵심 인자는 동종 혹은 이종 생산품에 대해 그 가치를 가장 잘 평가할 수 있는 어떤 기준 값이다. 즉 쾌적생활 환경 제어일 경우에는 예상불만족률이 공학적 평가기준 중에 가장 합리적일 수 있겠지만, 농수산물 저장 창고 등에서의 온도 제어일 경우에는 부폐지수 등과 같이 농수산물의 신선도를 수식화한 지표가 온기 및 냉기의 가치평가 수행에 더욱 합리적일 것이다. 따라서 여러 생산품의 가치평가 및 범국민적인 에너지절감을 위해 다양한 공학적 가치평가 기준이 개발되어야 하겠다.

3. 원가산정 및 비용배분 수행

예냉기, 냉각코일, 그리고 실A, 실B, 실C, 실D로 이루어진 어떤 냉방시스템을 대상으로 각 실에 공급되는 냉기의 원가를 다양한 방법을 통해서 산정하고, 공통비 투입에 대한 냉방비를 배분하고자 한다. 여기서, 주어진 시스템을 해석하기 위해 폐사에서 개발한 싸이플랜(PsyPlan) 1.0 소프트웨어를 이용하였고, 시스템의 개략도와, 각각의 상태, 과정, 혼합에 대한 시스템 해석 결과값이 Fig. 1과 Fig. 2에 나와 있다.

식(1)은 외부로부터 투입된 열량비와 간접비 및 구성기기의 직접비를 모두 포함하는 수식이다. 본 시스템에 투입된 열량비 \dot{D}_{ES} 만을 고려하여 식(1)을 적용하면, 각 실에 공급되고 있는 냉기의 원가 산정 수식은 다음과 같다.

$$C_{U,i} = \kappa_i \cdot \frac{C_{ES}\dot{D}_{ES}}{\sum_{j=A}^D \kappa_j \dot{Q}_j} \quad (3)$$

여기서, 하첨자 i 는 실 A, B, C, D를 뜻하며,

\dot{Q}_A 는 실A로 투입된 냉기의 열량 76.9 MJ/h, \dot{Q}_B 는 실B로 투입된 냉기의 열량 147.0 MJ/h, \dot{Q}_C 는 실C로 투입된 냉기의 열량 68.8 MJ/h, \dot{Q}_D 는 실D로 투입된 냉기의 열량 114.6 MJ/h 이고, \dot{Q}_{ES} 는 총 투입된 열량 600.0 MJ/h, C_{ES} 는 그 투입된 열량의 단가로 10 \$/GJ을 적용하였다. 따라서 투입된 열량의 가격흐름은 6.00 \$/h이다.

가치에너지 \dot{K}_i 와 산출열량 \dot{Q}_i 의 비 또는 가치율 κ_i 값은 질량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률, 그리고 실내온도비례 등 다양한 기준으로 각각 계산할 수 있다. 여기서 가치에너지 \dot{K}_i 은 질량 기준일 경우 $\dot{G}_i(h_9 - h_4)$, 엔탈피 기준일 경우 $\dot{G}_i(h_i - h_4)$, 엑서지 기준일 경우 $\dot{G}_i(e_{X,i} - e_{X,4})$ 이며, Table 1에 그 값이 계산되어 있다.

간접비 및 각 구성기기 직접비 등의 고정비에 대해 식(1)을 적용하면, 고정비에 대한 각실 냉기의 원가를 다음의 수식으로부터 산정할 수 있다.

$$C_{F,i} = \kappa_i \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_{DC}}{\sum_{j=A}^D \kappa_j \dot{Q}_j} + \frac{\dot{Z}_i}{\dot{Q}_j} \quad (4)$$

여기서, 하첨자 i 는 실 A, B, C, D를 뜻하며, \dot{Z} 는 간접비 및 각 구성기기의 직접비로서, 정률법 및 정액법 등의 회계학적 방법으로 공조시스템 설치시 주어지는 비용흐름이다. 따라서 위의 수식으로부터 고정비에 대한 각 냉기의 원가를 산정할 수 있다.

4. 결과 및 토의

Table 1에는 열원 투입비용 6.00 \$/h에 대해, 가치율 κ 로 질량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률(PPD), 온도비례 등을 식(3)에 적용한 원가산정 결과와 식(2)를 적용한 공통비배분 결과가 나와 있다.

각 냉기의 원가비율은 Case 1)의 질량 기준일 경우 18.3%, 19.3%, 31.1%, 31.2%로, Case 2)의 엔탈피 기준일 경우 모두 25.0%로, Case 3)의 엑서지 기준일 경우 22.5%, 23.7%, 26.5%, 27.3%로, Case 4)의 예상불만족률 기준일 경우 19.4%, 25.8%, 27.0%, 27.7%로 산정되었다. 한편 정책적

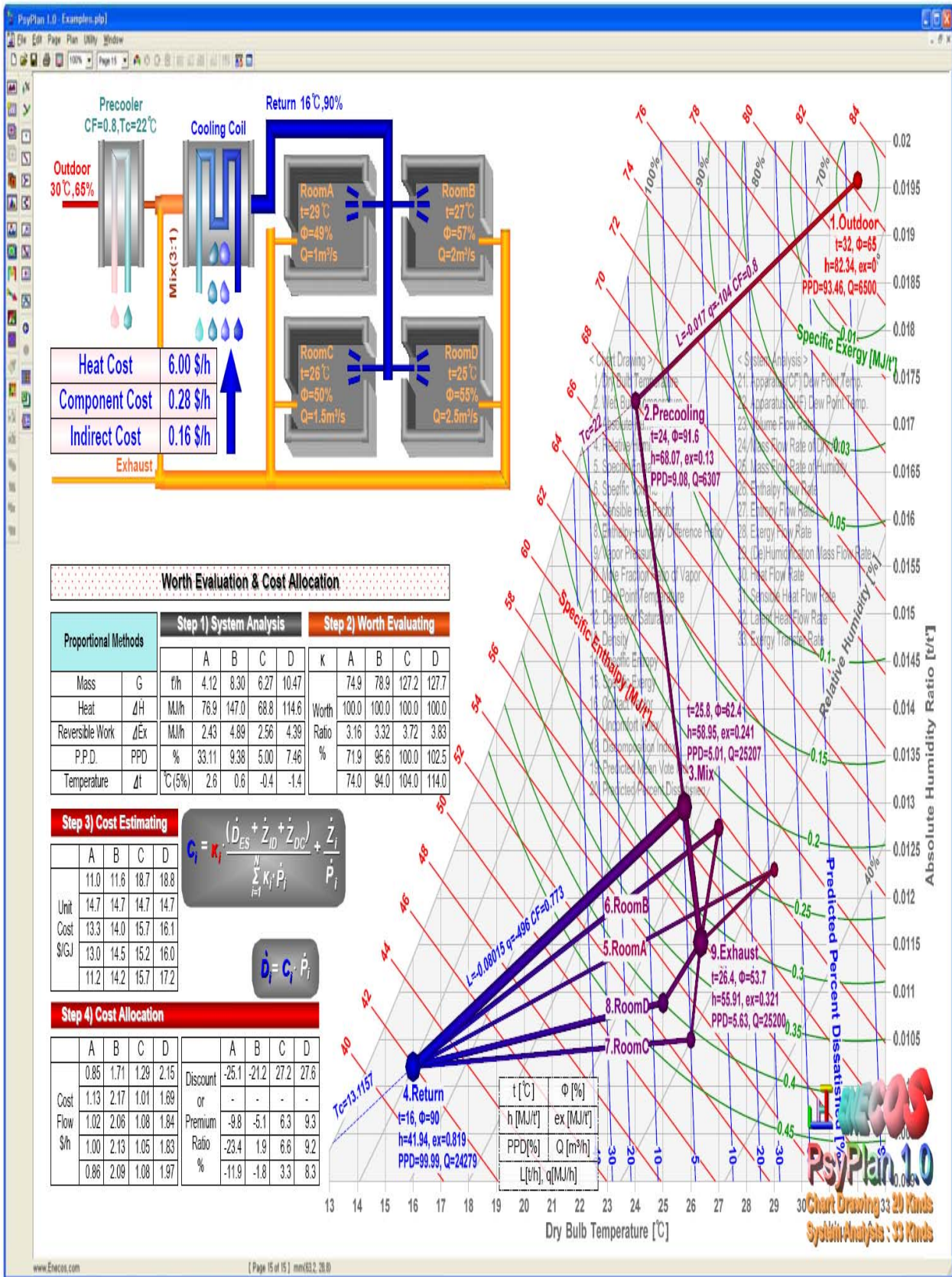


Fig. 1 Schematic diagram of an air-conditioning system and state and process data on psychrometric chart.

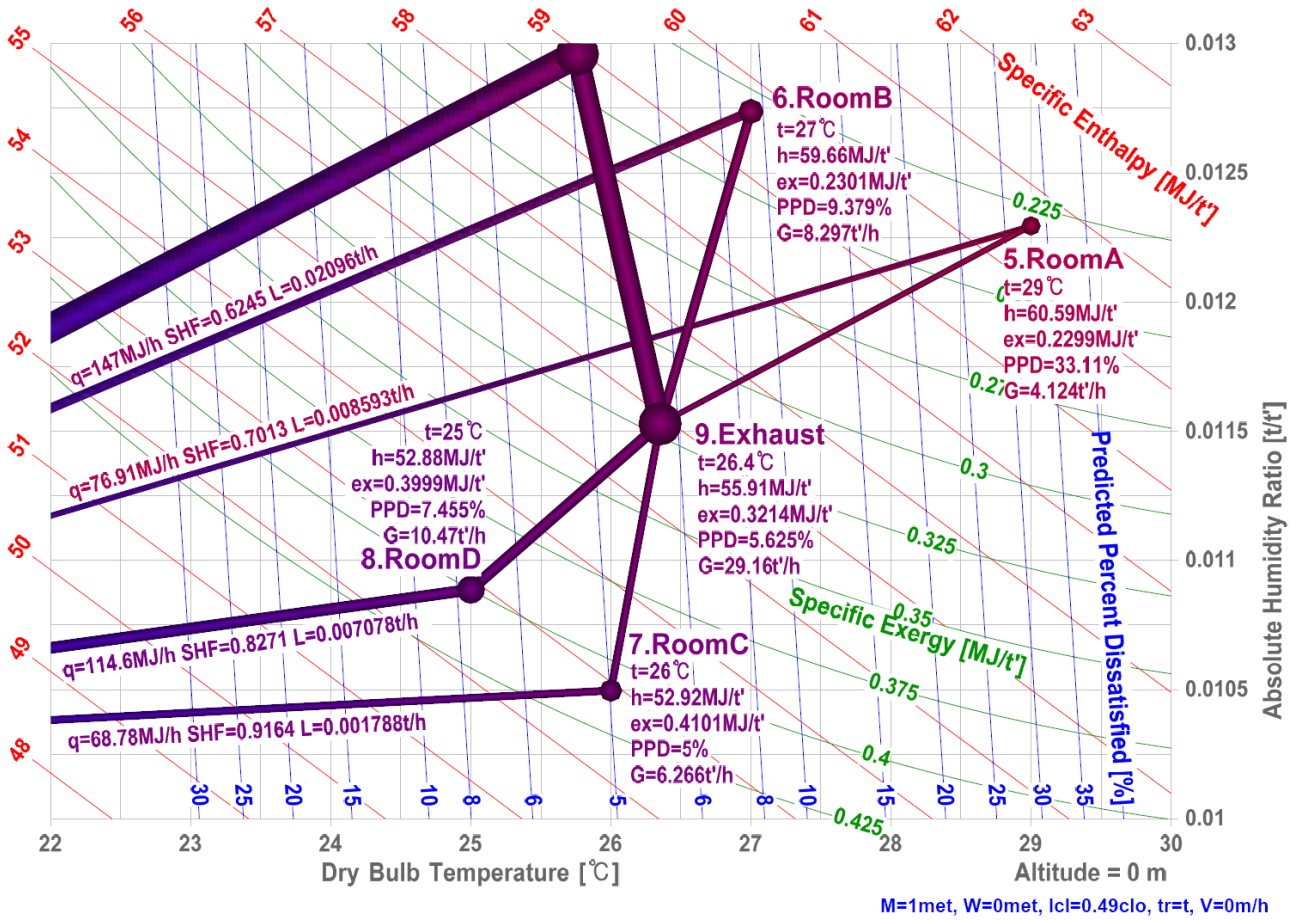


Fig. 2 The values of mass, enthalpy, exergy, and PPD on the each room.

Table 2 Results of cost allocation to each cool air on the heat input cost flow 6.00 \$/h. Where, the heat \dot{Q}_A is 76.9 MJ/h, \dot{Q}_B is 147.0 MJ/h, \dot{Q}_C is 68.8 MJ/h, \dot{Q}_D is 114.6 MJ/h, and the average room temperature is 26.4°C.

METHOD	Worth Energy \dot{K} [MJ/h]				Worth Ratio κ [%]				Unit Cost C [\$/GJ]				Unit Cost Ratio [%]			
Room	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Room Temp.	29	27	26	25	29	27	26	25	29	27	26	25	29	27	26	25
Case 1) Mass	57.6	115.9	87.5	146.3	74.9	78.9	127.2	127.7	11.0	11.6	18.7	18.8	18.3	19.3	31.1	31.2
Case 2) Enthalpy	76.9	147.0	68.8	114.6	100.0	100.0	100.0	100.0	14.7	14.7	14.7	14.7	25.0	25.0	25.0	25.0
Case 3) Exergy	2.429	4.887	2.563	4.388	3.16	3.32	3.72	3.83	13.3	14.0	15.7	16.1	22.5	23.7	26.5	27.3
Case 4) PPD					71.9	95.6	100.0	102.5	11.3	15.0	15.7	16.1	19.4	25.8	27.0	27.7
Case 5) -5%/°C					87.0	97.0	102.0	107.0	13.0	14.5	15.2	16.0	22.1	24.7	26.0	27.2
-10%/°C					74.0	94.0	104.0	114.0	11.2	14.2	15.7	17.2	19.2	24.4	26.9	29.5
	Cost Flow Rate \dot{D} [\$/h]				Cost Flow Ratio [%]				$\dot{D}/\dot{D}_2 - 1$ [%]				Total Cost Flow			
Case 1) Mass	0.85	1.71	1.29	2.15	14.1	28.5	21.5	35.9	-25.1	-21.2	+27.2	+27.6	6.00 \$/h			
Case 2) Enthalpy	1.13	2.17	1.01	1.69	18.9	36.1	16.9	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.00 \$/h			
Case 3) Exergy	1.02	2.06	1.08	1.85	17.0	34.3	18.0	30.8	-9.8	-5.1	+6.3	+9.3	6.00 \$/h			
Case 4) PPD	0.87	2.21	1.08	1.84	14.5	36.8	18.0	30.7	-23.4	1.9	+6.6	+9.2	6.00 \$/h			
Case 5) -5%/°C	1.00	2.13	1.05	1.83	16.6	35.4	17.4	30.5	-11.9	-1.8	+3.3	+8.3	6.00 \$/h			
-10%/°C	0.86	2.09	1.08	1.97	14.3	34.8	18.0	32.9	-24.1	-3.6	+6.6	+16.9	6.00 \$/h			

결정의 예로서, Case 5)와 같이 온도비례를 적용할 경우 즉 실내평균온도 26.4℃를 100% 기준으로, 1℃ 상승할 때마다 5%의 가치 할인 또는 할증을 부여할 경우 22.1%, 24.7%, 26.0%, 27.2%로, 1℃ 상승할 때마다 10%의 가치 할인 또는 부과를 부여할 경우 19.2%, 24.4%, 26.9%, 29.5%로 산정되었다. 여기서, 공기조화 분야에는 다양한 열쾌적지표가 있으나, 이해의 편의상 건구온도를 대상으로 하였다.

위의 원가산정결과는 결국 Case 2)의 엔탈피 적용을 기준으로, 각 실의 가감된 비용배분률은 Case 1)의 질량을 적용할 경우 -25.1%, -21.2%, +27.2%, +27.6%로, Case 3)의 엑서지를 적용할 경우 -9.8%, -5.1%, +6.3%, +9.3%로, Case 4)의 예상불만족률을 적용할 경우 -23.4%, +1.9%, +6.6%, +9.2%로, Case 5)의 1℃당 5% 비례를 적용할 경우 -11.9%, -1.8%, +3.3%, +8.3%로, 1℃당 10% 비례를 적용할 경우 -24.1%, -3.6%, +6.6%, +16.9%로 가감되었다. 위의 결과로부터 에너지를 절약한다라고 여길 수 있는 실 A에는 상당한 양의 냉방비 할인 혜택이 주어졌고, 에너지를 과소비한다라고 여길 수 있는 실 D에는 상당한 양의 냉방비가 할증되었음을 볼 수 있다. 이러한 요금체계라면, 결국 실 D는 높은 냉방요금으로 인해 온도를 높여 에너지를 절약해야 할 것이다. 그러나 위의 결과는 특정 시스템에 대한 결과이므로, 일반적으로 확장하기에는 다소 무리가 있다. 따라서 다양한 경우의 냉난방 시스템을 해석하여 그 결과를 비교 검토할 예정이다.

본 연구에서는 위의 각 방법론에 대한 고찰 및 고정비에 대한 식(4)의 적용은 선행연구⁽³⁾의 결과와 유사하므로 생략하였다.

5. 결론

단일 시스템으로부터 생산된 동종 및 이종 에너지에 대한 원가산정 및 공통비 배분 방법론을 선행연구에서 제안한 바 있다. 본 연구에서는 다양한 생산품 중 실내 쾌적환경을 제어하는 냉기를 대상으로 가치평가 및 비용산정을 수행하였으며, 그 가치평가 기준으로, 질량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률, 그리고 다양한 열쾌적지표를 온도와 습도가 서로 다른 냉방을 수행하는 4개의 실에 적용하였다.

이 시스템 해석 결과, 질량 기준일 경우 18.3%, 19.3%, 31.1%, 31.2%로, 엔탈피 기준일 경우 모두 25.0%로, 엑서지 기준일 경우 22.5%, 23.7%, 26.5%, 27.3%로, 예상불만족률 기준일 경우 19.4%, 25.8%, 27.0%, 27.7%로, 1℃당 5% 가치부여 기준일 경우 22.1%, 24.7%, 26.0%, 27.2%로, 1℃당 10% 가치부여 기준일 경우 19.2%, 24.4%, 26.9%, 29.5%로 산정되었다.

예상불만족률 그리고 온도비례 기준 결과를 보면 에너지 절약을 실현하고 있는 실에는 상당한 양의 냉방비 할인 혜택이 주어졌고, 에너지를 과소비하는 실에는 상당한 양의 냉방비가 할증되었음을 볼 수 있다. 더 나아가 온도비례 기준은 일반인이 이해할 수 있으므로, 가장 현실적인 평가 방법이라 할 수 있으며, 위 결과들을 실제 냉방요금에 적용한다면 소비자의 자발적인 에너지 절약이 유도될 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구의 방법론 및 결과가 냉난방 에너지 요금체계에 합리적인 근거가 될 수 있기를 기대하며, 향후 보다 실증적인 데이터를 기반으로 에너지의 가치평가 및 원가산정을 수행할 예정이다.

참고 문헌

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, Report of Enecos Inc. 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. Kim, D.J., 2008, A Suggestion for the Worth Evaluation of Warm Air and the Allocation Methodology of Heating Cost, Korean journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 654-661.
5. ASHRAE, 2005, ASHRAE Handbook-Fundamentals, Atlanta, Chapter 8.