# 냉기의 가치평가 및 냉방비 배분방법론 제안

김 덕 진†
에너코스

# Suggestion of the Worth Evaluation of Cool Air and the Allocation Methodology of Cooling Cost

Deok-Jin Kim†
*ENECOS, Gwangyang-si, Chollanam-do, 545-884, Korea*

*(Received December 4, 2008; revision received February 2, 2009)*

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 cool air, and preformed the worth evaluation and cost allocation on each cool air. As a result, similarly to the precedent study, the more energy a customer saved, the more cooling unit cost decreased, and the more energy a customer consumed, the more cooling unit cost increased. From this analysis, we hope that the suggested methodology can offer a theoretical basis to the energy charge policy 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]
$\dot{E}_X$ : 엑서지흐름 [MJ/t']
$\dot{m}$ : 건공기의 질량흐름 [t'/h]
$\dot{H}$ : 엔탈피흐름 [MJ/t']
$\dot{K}$ : 가치에너지 투입량 [MJ/h]
$\dot{P}$ : 에너지 생산량 [MJ/h]
$PPD$ : 예상불만족률 [%]
$\dot{Q}$ : 열량 [MJ/h]
$t$ : 실내온도 [℃]
$\dot{v}$ : 풍량 [$m^3$/h]
$\dot{Z}$ : 간접비 및 구성기기의 비용흐름 [$/h]

### 그리스 문자

$\kappa$ : 가치율
$\xi$ : 실내온도 1 ℃ 절약에 대한 할인율

### 하첨자

$A$ : 실 A에서 생산품
$avg$ : 건물의 평균실내온도

† Corresponding author
Tel.: +82-61-793-2730; fax: +82-61-794-2730
*E-mail address*: enecos@hotmail.com

$B$ : 실 B에서 생산품
$C$ : 실 C에서 생산품
$D$ : 실 D에서 생산품
$DC$ : 냉기 생산을 위한 공통구성기기
$ES$ : 열원
$F$ : 고정비 원가
$i$ : $i$번째 생산품
$ID$ : 간접비
$tot$ : 실 A, B, C, D에서 생산품의 총합
$U$ : 변동비 원가

## 1. 서 론

2008년 정부는 연료비 상승 및 국제 가격 등을 감안하여 에너지 가격체계를 재조정하고, 여름철 냉방온도 하한선을 26℃, 겨울철 난방온도 상한선을 20℃로 규제하여 이를 어기면 과태료를 부가하는 등의 에너지 절감을 위한 각종 대책을 계획하였다. 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, 단일 시스템으로부터 하나의 에너지만 생산한다면 투입된 금액과 생산된 금액은 서로 같다는 수식으로부터 그 생산품의 원가를 쉽게 산정할 수 있고, 그 원가를 기준으로 판매가를 책정할 수 있을 것이다. 그러나 단일시스템으로부터 전기와 열 즉 이종 에너지가 생산된다면, 각 생산품의 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 에너지 시스템은 전기와 열을 동시에 생산하는 열병합발전이며, The world bank사의 기술보고서[1]에서 다양한 회계학적 방법론을 소개하고 있다. 그러나 증기, 온수, 냉수, 온기, 냉기, 얼음 등의 동종의 열이지만 온도 또는 압력이 서로 다른 생산품일 경우, 더 나아가 열병합발전 이외의 어떤 복합에너지 시스템일 경우 각 제품에 대한 원가산정 및 비용배분 수식은 아직 학문적으로 제안되지 않은 듯하다.

이에 선행연구를 통해서 열병합발전, 보일러, 열교환기, 냉난방 시스템, 연료전지 등의 복합에너지 시스템에 적용할 수 있는 가치평가방법[2]이라는 새로운 원가산정 방법론을 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 생산물의 원가산정 및 비용배분을 수행한 바 있다. 본 연구에서는 다양한 에너지 시스템 중 쾌적환경을 제어하는 냉방시스템을 대상으로 선행연구에서 제안하였던 방법론을 적용하여 냉기의 원가 산정 및 냉방비 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

선행연구[2]에서 제안한 바와 같이 가치평가방법의 정의는 생산원가는 제품의 가치에 비례한다이며, 그 원가산정 수식 및 공통비 투입에 대한 비용배분 수식은 다음과 같다.

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

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

여기서, 하첨자 $i$는 $N$개의 생산 제품 중 $i$번째 생산품, 기호 $C$는 생산원가, $\kappa_i$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 $\kappa_i$ 또는 가치에너지 $\dot{K}_i$를 제외하면 모두 사전에 주어지는 값이므로, 이 값들을 결정하는 것이 본 방법론의 핵심이다. 가치에너지란 생산된 각 에너지의 가치를 동급으로 평가하기 위해 본 방법론에서 제안하는 어떤 에너지이며, 열병합 시스템일 경우 선행연구[2-3]에서 엔탈피, 대체전기, 대체열, 대체연료, 가역일을 제

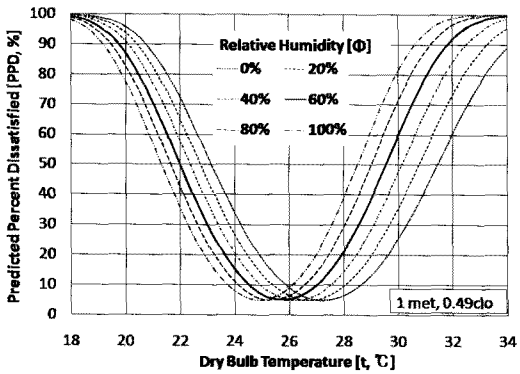


Fig. 1 PPD on cool air.

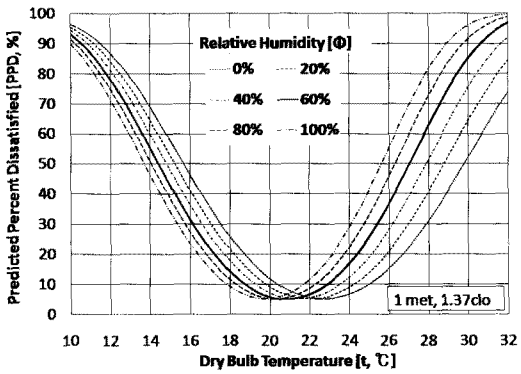


Fig. 2 PPD on warm air.

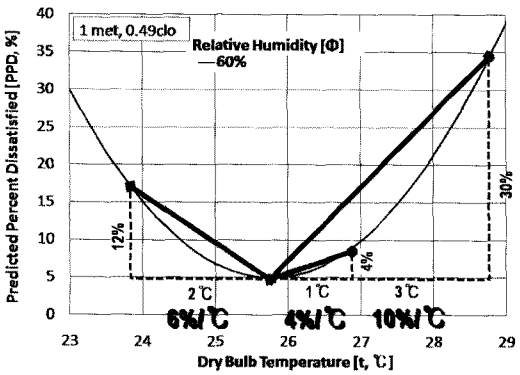


Fig. 3 Discount rate per 1 ℃ on cool air.

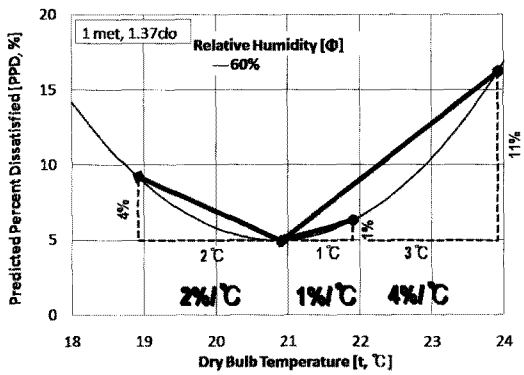


Fig. 4 Discount rate per 1 ℃ on warm air.

안하였고, 서로 다른 온도와 습도를 갖는 온기 및 냉기들의 각 가치를 평가하는 기준으로는 선행연구[4]에서 질량(Mass : $\dot{m}$), 엔탈피(Enthalpy : $\dot{H}$), 엑서지(Exergy : $\dot{E}_X$),[5] 예상불만족률(Predicted Percent Dissatisfied : $PPD$),[6] 건구온도 등의 열쾌적지표(Thermal Comfort Index : $t$)[6]를 제안하였으며, 다음의 수식으로 정리된다.

$$\dot{K}_i = \dot{m}_i \bullet \dot{Q}_{tot}/\dot{m}_{tot} \tag{3}$$

$$\dot{K}_i = \Delta\dot{H}_i = \dot{Q}_i \tag{4}$$

$$\dot{K}_i = \Delta\dot{E}_{X,i} \tag{5}$$

$$\kappa_i = 100 \pm (PPD_i - 5) \tag{6}$$

$$\kappa_i = 100 \pm \xi \bullet |t_i - t_{avg}| \tag{7}$$

위 수식에 대한 설명 및 특징은 선행연구[4]에서 세부적으로 논의하였으며 그 핵심사항을 기술하자면 식(3)은 질량비례방법으로 각 실로 투입된 질량에 비례하여 그 가치에너지를 결정하는 방법이고, 식(4)은 각 실로 투입된 열량을 그 가치에너지로 평가하는 방법이고, 식(5)은 각 실로 투입된 엑서지를 그 가치에너지로 평가하는 방법이고, 식(6)은 예상불만족률을 그 가치율로 평가하는 방법으로 PPD 5%를 기준으로 에너지를 절약하면 -기호를 과소비하면 +기호를 적용하고, 식(7)은 건구온도 등의 열쾌적지표를 그 가치율로 평가하는 방법으로 건물 전체의 실내 평균 온도를 기준으로 에너지를 절약하면 -기호를 과소비하면 +기호를 적용한다. 본 연구에서는 추가적으로 식(7) 방법에서의 $\xi$에 대해 구체적으로 논의해 보도록 하겠다.

먼저, 실내 열환경에 대한 인체의 불쾌감을 수식화한 예상불만족률(PPD)[6]값은 냉방일 경우 Fig. 1 그리고 난방일 경우 Fig. 2와 같다. 설비공학에서 제안하는 이 값을 식(6)에 적용하여 냉기 및 온

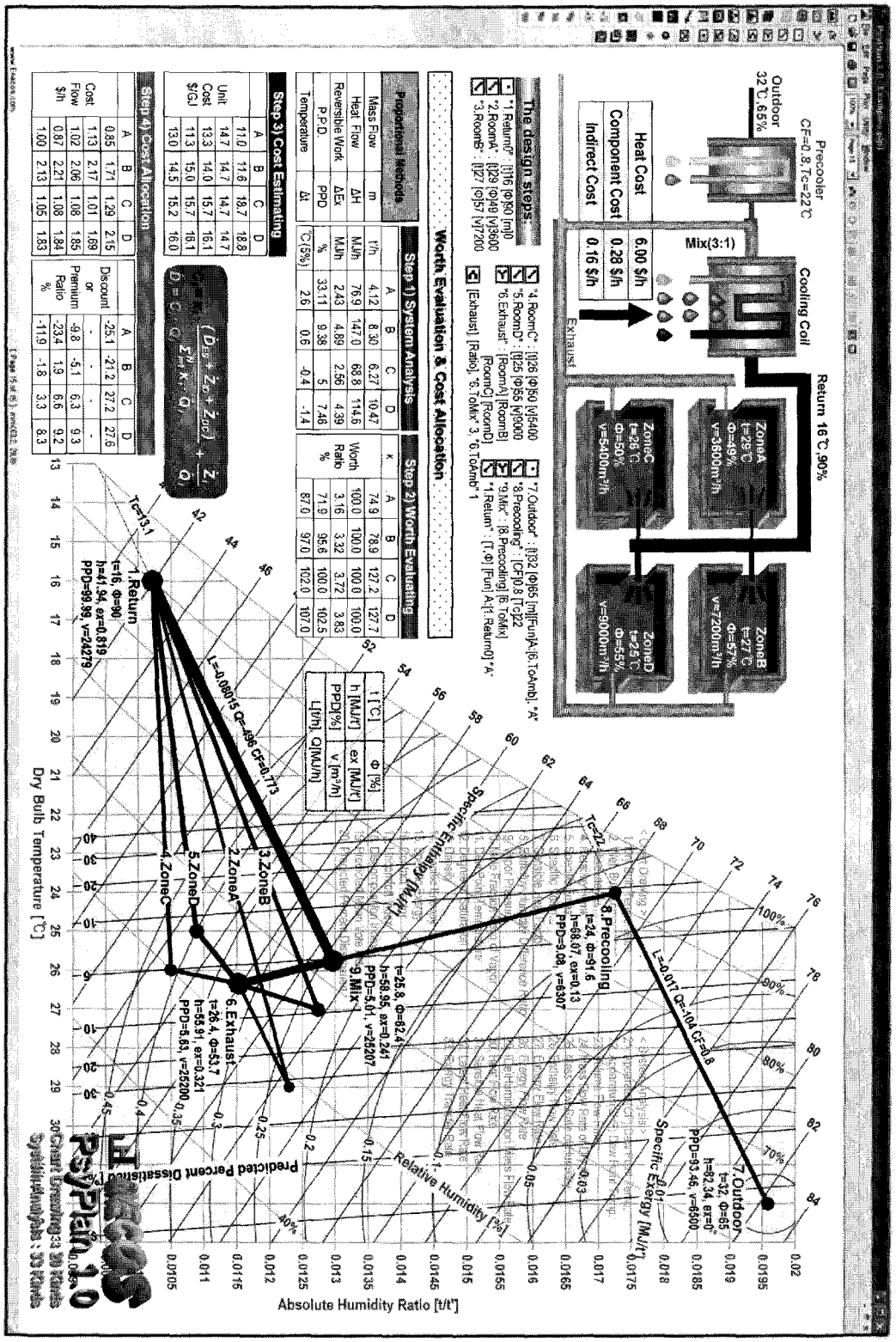


Fig. 5 Schematic diagram of an air-conditioning system and state and process data on psychrometric chart.

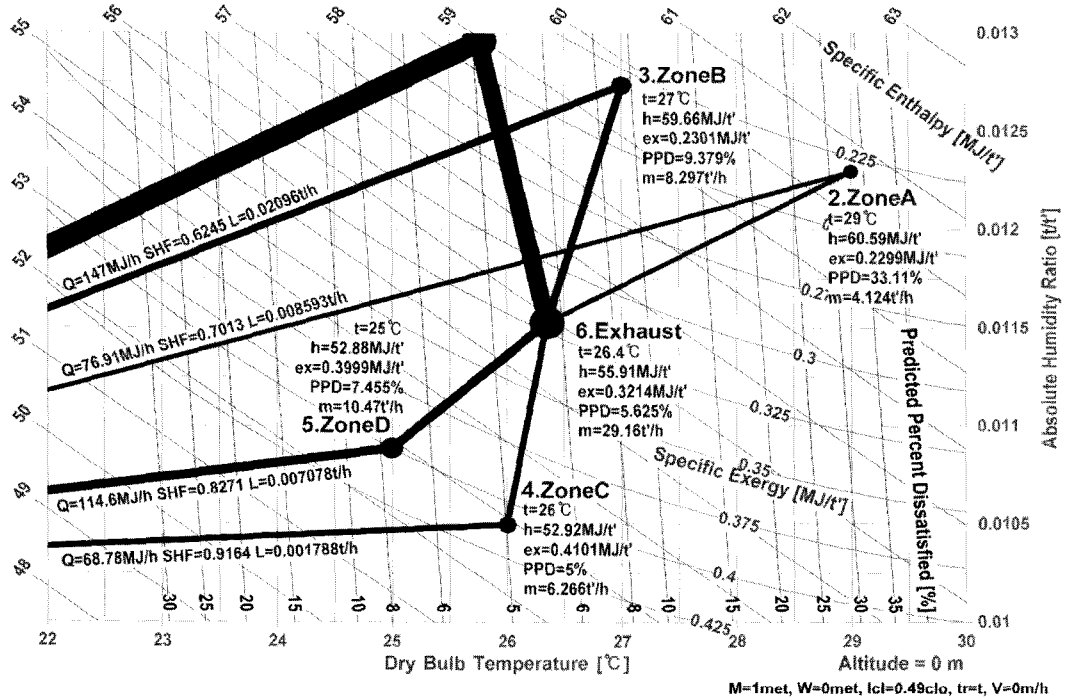


Fig. 6 The values of mass, enthalpy, exergy, PPD, and temperature on each room.

기의 가치를 산정할 수 있으나, 일반 소비자가 이 값을 이해하기에는 힘들 것으로 예상된다. 따라서 일반 소비자가 이해할 수 있도록 냉방일 경우 Fig. 3 그리고 난방일 경우 Fig. 4와 같이 예상불만족률을 단순화한 값이 필요할 것이며, 이 값의 범위는 냉방일 경우 실내온도 1 ℃당 5%~10% 정도의 할인율/할증률 그리고 난방일 경우 실내온도 1 ℃당 2%~4% 정도의 할인율/할증률이 적절할 것으로 판단한다. 즉 예상불만족률을 기준으로 유추된 이 값을 식(7)의 $\xi$ 값으로 대입하고자 한다. 한편, 이 값은 정해진 상수 또는 강제적인 값이 아니라, 건물주와 사용자가 합의해야할 즉 자발적인 값이다. 만약 1 ℃당 할인율을 0%로 한다면 이 방법론은 식(4)의 결과와 같고 할인혜택은 없다고 합의하는 것이며, 할인율을 높게 책정할수록 건물주와 사용자는 에너지 절약의 중요성을 요금체계로 실천한다고 할 수 있을 것이다.

## 3. 원가산정 및 비용배분 수행

예냉기, 냉각코일, 그리고 실 A, 실 B, 실 C, 실 D로 이루어진 어떤 냉방시스템을 대상으로 각 실에 공급되는 냉기의 원가를 다양한 방법을 통해서 산정하고, 열원 투입에 대한 냉방비를 배분하고자 한다. 여기서, 주어진 시스템을 해석하기 위해 폐사에서 개발한 PsyPlan 1.0소프트웨어를 이용하였고, 시스템의 개략도와 각각의 상태, 과정, 혼합에 대한 시스템 해석 결과 값이 Fig. 5와 Fig. 6에 나와 있다.

주어진 시스템을 세부적으로 해석하자면, Fig. 5의 개략도에서 도시되었듯이 건구온도 32℃, 상대습도 65%의 외기공기가 콘팩트팩터 0.8, 장치노점온도 22 ℃의 예열기를 거쳐 취출공기와 1 : 3의 비율로 혼합되고, 이 혼합공기는 냉각코일을 거쳐 16 ℃, 90%의 냉기로 냉각된 후 29 ℃, 49%의 실 A에 3600 $m^3$/h, 27 ℃, 57%의 실 B에 7200 $m^3$/h, 26 ℃, 50%의 실 C에 5400 $m^3$/h, 그리고 25 ℃, 55%의 실 D에 9000 $m^3$/h의 냉기를 공급한다. 본 방법론을 적용하기 위해서는 각 상태에서의 건구온도, 절량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률, 생산열량 등 상태값 및 과정값의 계산이 필요하여 해석이 난해해질 수 있으나, 개발된 소프트웨어를 사용한다면 주어진 데이터만으로 Fig. 5

Table 1. 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 ℃.

| METHOD | Worth Energy $\dot{K}$[MJ/h] | | | | Worth Ratio $\kappa$ [%] | | | | 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 5) $\xi$ = 5%/℃ | | | | | 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%/℃ | | | | | 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 $\dot{D}$[$/h] | | | | Cost Flow Ratio [%] | | | | Discount Cost [$/h] | | | | Discount Ratio [%] | | | |
| 1) Mass | 0.85 | 1.71 | 1.29 | 2.15 | 14.1 | 28.5 | 21.5 | 35.9 | -0.28 | -0.46 | +0.28 | +0.47 | -25.1 | -21.2 | +27.2 | +27.6 |
| 2) Enthalpy | 1.13 | 2.17 | 1.01 | 1.69 | 18.9 | 36.1 | 16.9 | 28.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3) Exergy | 1.02 | 2.06 | 1.08 | 1.85 | 17.0 | 34.3 | 18.0 | 30.8 | -0.11 | -0.11 | +0.06 | +0.16 | -9.8 | -5.1 | +6.3 | +9.3 |
| 4) PPD | 0.87 | 2.21 | 1.08 | 1.84 | 14.5 | 36.8 | 18.0 | 30.7 | -0.26 | +0.04 | +0.07 | +0.16 | -23.4 | 1.9 | +6.6 | +9.2 |
| 5) $\xi$ = 5%/℃ | 1.00 | 2.13 | 1.05 | 1.83 | 16.6 | 35.4 | 17.4 | 30.5 | -0.13 | -0.04 | +0.03 | +0.14 | -11.9 | -1.8 | +3.3 | +8.3 |
| 10%/℃ | 0.86 | 2.09 | 1.08 | 1.97 | 14.3 | 34.8 | 18.0 | 32.9 | -0.27 | -0.08 | +0.07 | +0.28 | -24.1 | -3.6 | +6.6 | +16.9 |

및 Fig. 6의 차트 작도 및 시스템 해석을 비전문가라도 손쉽게 수행할 수 있다.

식(1)은 외부로부터 투입된 열량비와 간접비 및 구성기기의 직접비를 모두 포함하는 수식이다. 본 시스템에서 각각의 생산 에너지량 $\dot{P}$는 각 실에서 생산된 열량 $\dot{Q}$이며, 투입된 열량비 $\dot{D}_{ES}(C_{ES}\cdot\dot{Q}_{ES})$만을 고려하여 식(1)을 적용하면, 각 실에 공급되고 있는 냉기의 원가 산정 수식은 다음과 같다.

$$C_{U,i} = \kappa_i \cdot \frac{C_{ES}\dot{Q}_{ES}}{\sum_{j=A}^{D}\kappa_j\dot{Q}_j} \quad \begin{matrix} |where| \\ \dot{K}_i = \kappa_i\dot{Q}_i \end{matrix} \tag{8}$$

여기서, 하첨자 $i$는 실 A, B, C, D를 뜻하며, $\dot{Q}_A$는 실 A에서 생산된 냉기의 열량 76.9 MJ/h, $\dot{Q}_B$는 실 B에서 생산된 냉기의 열량 147.0 MJ/h, $\dot{Q}_C$는 실 C에서 생산된 냉기의 열량 68.8 MJ/h, $\dot{Q}_D$는 실 D에서 생산된 냉기의 열량 114.6 MJ/h이고, $\dot{Q}_{ES}$는 시스템 외부에서 예냉기로 투입된 열량 104.0 MJ/h과 냉각기로 투입된 열량 496.0 MJ/h의 합 600.0 MJ/h, $C_{ES}$는 그 열량의 단가로 10 $/GJ을 적용하였다. 따라서 시스템 외부로부터 투입된 총 가격흐름 $\dot{D}_{ES}$은 6.00 $/h이다.

가치에너지 $\dot{K}_i$와 생산열량 $\dot{Q}_i$의 비 또는 가치율 $\kappa_i$ 값은 식(3)~식(7)으로부터 질량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률, 그리고 실내온도비례 등 다양한 기준으로 각각 계산할 수 있다. 여기서 가치에너지 $\dot{K}_i$은 질량 기준일 경우 $\dot{m}_i(h_6-h_1)$, 엔탈피 기준일 경우 $\dot{m}_i(h_i-h_1)$, 엑서지 기준일 경우 $\dot{m}_i(e_{X,i}-e_{X,1})$이며, 이 값을 식(8)에 적용하여 각 생산품의 원가 $C_i$를 산정할 수 있고, 식(2)를 적용하여 비용 $\dot{D}_i$을 배분할 수 있다. 이 결과가 Table 1에 계산되어 있다. 실 A를 기준으로 그 계산 과정을 구체적으로 살펴보자면, Fig. 5와 Fig. 6으로부터 $\dot{m}_A$는 4.124 t'/h, $h_6$는 55.91 MJ/t', $h_1$는 41.94 MJ/t', $h_A$는 60.59 MJ/t', $e_{X,1}$는 0.819 MJ/t', $e_{X,A}$는 0.2299 MJ/t'이므로, 가치에너지 $\dot{K}_A$는 질량 기준일 경우 57.6 MJ/h, 엔탈피 기준일 경우 76.9 MJ/h, 그리고 엑서지 기준일 경우 2.429 MJ/h로 계산된다. 가치율 $\kappa_A$는 질량, 엔탈피, 엑서지 기준일 경우 식(2)에서 정의 되듯이

가치에너지와 생산된 열량 76.9 MJ/h와의 비율이므로 각각 74.9%, 100%, 3.16%로 계산되며, Fig. 6으로부터 $PPD_A$는 33.11 % 그리고 $t_A$는 29 ℃, $t_{avg}$는 26.4 ℃이므로 예상불만족률 기준일 경우 식(6)으로부터 71.9% 그리고 실내온도 기준일 경우 식(7)로부터 87.0% 또는 74.0%로 계산된다. 이 결과들을 식(8)에 대입하면 A실 냉기의 원가 $C_A$가 질량 기준일 경우 11.0 $/GJ, 엔탈피 기준일 경우 14.7 $/GJ, 엑서지 기준일 경우 13.3 $/GJ, 예상불만족률 기준일 경우 11.3 $/GJ, 실내온도 기준일 경우 13.0 $/GJ 또는 11.2 $/GJ로 산정되며, 식(2)로부터 그 배분된 비용 $\dot{D}_A$이 질량 기준일 경우 0.85 $/h, 엔탈피 기준일 경우 1.13 $/h, 엑서지 기준일 경우 1.02 $/h, 예상불만족률 기준일 경우 0.87 $/h, 실내온도 기준일 경우 1.00 $/h 또는 0.86 $/h로 계산된다. 열역학 제 1법칙적인 기준 즉 엔탈피를 기준으로 실 A에 배분된 비용은 1.13 $/h이며, 이 비용이 만약 기존에 청구되었다고 한다면, 새로운 요금체계는 질량, 엑서지, 예상불만족률, 그리고 실내온도 기준 중 하나가 택해 질 수 있으며, 실내온도 29 ℃를 유지하는 A실의 소비자는 질량 기준일 경우 0.28 $/h의 냉방비 할인 혜택을 받을 수 있고, 엑서지 기준일 경우 0.11 $/h의 냉방비 할인 혜택을 받을 수 있고, 예상불만족률 기준일 경우 0.26 $/h의 냉방비 할인 혜택을 받을 수 있고, 실내온도 기준일 경우 0.13 $/h 또는 0.27 $/h의 냉방비 할인 혜택을 받을 수 있다.

이상으로 열원 비용에 대한 각 냉기로의 원가산정 및 비용배분을 수행하였으며, 간접비 및 각 구성기기의 직접비 등의 고정비에 대해 식(1)을 적용하면, 고정비에 대한 각실 냉기의 원가를 다음의 수식으로부터 산정할 수 있다.

$$C_{F,i} = \kappa_i \cdot \frac{\dot{Z}_{ID} + \dot{Z}_{DC}}{\sum_{j=A}^{D} \kappa_j \dot{Q}_j} + \frac{\dot{Z}_i}{\dot{Q}_i} \qquad (9)$$

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

냉기의 가치평가를 통한 원가산정과 비용배분의 결과로부터, A실, B실, C실, 및 D실 냉기의 원가비율은 Table 1에서 정리된 바와 같이 질량 기준일 경우 각각 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 산정되었다. 한편 정책적 결정의 예로서, 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 엔탈피 적용을 기준으로, 각 실의 가감된 비용배분률은 질량을 적용할 경우 -25.1 %, -21.2 %, +27.2 %, +27.6 %로, 엑서지를 적용할 경우 -9.8 %, -5.1 %, +6.3 %, +9.3 %로, 예상불만족률을 적용할 경우 -23.4 %, +1.9 %, +6.6 %, +9.2 %로, 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 산정되었다. 엑서지, 예상불만족률, 그리고 온도비례 방법에서 29 ℃를 유지하는 실 A에는 상당한 양의 냉방비 할인 혜택이 주어졌고, 25 ℃를 유지하는 실 D에는 상당한 양의 냉방비가 할증되었음을 볼 수 있다. 이러한 요금체계라면, 결국 25 ℃를 유지하는 실 D는 높은 냉방요금으로 인해 실내온도를 높여 에너지를 절약할 것으로 예상되며, 29 ℃를 유지하는 실 A는 냉방요금에 대한 불만이 기존에 비해 상당히 감소할 것으로 예상된다.

각 방법론의 세부적인 특징은 선행연구[4]에서 설명하였으며, 그 특징을 요약하면 다음과 같다. 질량을 기준으로 냉기의 가치를 평가하는 방법은 소비자는 열을 사용하는 것이지 질량을 사용하는 것이 아니라는 논리에서 단점이 있으나 대부분의 요금체계에서 실제 적용하고 있는 방법이다. 엔탈피 기준 방법은 열역학 제 1법칙에 근거하기 때문에 역학적으로 명확하다는 장점이 있으나, 25

℃의 냉기와 29 ℃의 냉기의 가치가 서로 같다고 평가한다. 엑서지 기준 방법은 열역학 제 2법칙에 근거하기 때문에 역학적으로 명확하다는 장점이 있으나, 냉기의 가치를 열기관의 성능으로 평가하고 있다. 반면, 예상불만족률은 쾌적한 생활환경의 정도를 수치화한 수식이므로 각 냉기의 가치를 가장 적절하게 평가하고 있다고 판단하나, 그 수식이 상당히 복잡하여 일반인이 이해하기에 난해하다는 단점이 있다. 온도 기준 방법은 공학에 근거한 방법은 아니지만, 일반인이 이해하기 쉽다는 장점이 있다.

본 연구 결과는 특정 시스템을 해석한 것이므로, 본 방법론이 에너지 절약에 기여한다라는 일반론으로 확장하기에는 많은 무리가 있을 것이다. 따라서 다양한 경우의 냉난방 시스템에 본 방법론을 실제 적용하여 소비자와의 분쟁은 최소가 되면서 에너지 절약은 최대로 실현하는 방법론을 지속적으로 검증해 나갈 예정이다.

## 5. 결 론

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 열쾌적지표를 각각 29 ℃, 27 ℃, 26 ℃, 25 ℃의 냉방을 수행하는 4개의 실에 적용하였다.

이 시스템 해석 결과, 각 냉기의 원가 비율은 질량 기준일 경우 각각 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.

엑서지, 예상불만족률, 그리고 온도비례 기준 결과를 보면 29 ℃ 즉 에너지 절약을 위해 노력하는 실에는 상당한 양의 냉방비 할인 혜택이 주어졌고, 25 ℃ 즉 에너지를 과소비하는 실에는 상당한 양의 냉방비가 할증되었음을 볼 수 있다. 더 나아가 온도비례 기준 방식은 일반인이 이해할 수 있는 방법론이므로, 가장 현실적인 평가방법이라 할 수 있으며, 위 결과들을 실제 냉방요금에 적용한다면 소비자의 자발적인 에너지 절약이 유도될 수 있을 것으로 예상한다.

본 연구의 방법론 및 결과가 냉난방 에너지 요금체계에 합리적인 근거가 될 수 있기를 기대하며, 향후 보다 실증적인 데이터를 기반으로 냉기와 온기의 가치평가 및 냉난방 비용배분을 수행할 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, 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. Bejan, A., 1988, Advanced Engineering Thermodynamics, Wiley, pp. 215-237.
6. ASHRAE, 2005, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, Chapter 8.