

온기의 가치평가 및 난방비 배분방법론 제안

김 덕 진[†]
에너코스

A Suggestion for the Worth Evaluation of Warm Air and the Allocation Methodology of Heating Cost

Deok-Jin Kim[†]

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

(Received May 30, 2008; revision received September 1, 2008)

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. Currently, the heating and cooling cost are charged as much as the volume or heat flow rate regardless of the high and low room temperature. However, we have suggested new cost estimating methodology as a worth method in the precedent study, and preformed the worth evaluation and cost allocation of electricity and heat on various cogenerations. In this study, we applied the suggested worth method to four kind of warm air, and preformed the worth evaluation and cost allocation of each warm air. As a result, 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 worth methodology can offer a theoretical basis to the politic pursuit of government, and induce the spontaneous energy saving of consumers.

Key words: Warm air(온기), Cool air(냉기), Heating cost(난방비), Unit cost(원가)

기 호 설 명			
C	: 에너지원가 [\$/GJ]	\dot{Q}	: 열량 [MJ/h]
\dot{D}	: 비용흐름 [\$h]	Z	: 간접비 및 구성기기의 비용흐름 [\$h]
e_x	: 비엑서지 [MJ/t']		그리스 문자
\dot{G}	: 건공기의 질량흐름 [t'/h]		
h	: 비엔탈피 [MJ/t']	κ	: 가치율
\dot{K}	: 가치에너지 전달량 [MJ/h]		하첨자
\dot{P}	: 에너지 산출량 [MJ/h]		
PPD	: 예상불만족률 [%]		
<hr/>		A	: 실 A
<hr/>		B	: 실 B
<hr/>		C	: 실 C
<hr/>		D	: 실 D

[†] Corresponding author

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

E-mail address: enecos@hotmail.com

- DC : 온기 생산에 대한 공통구성기기
- ES : 열원
- F : 고정비 원가
- i : i번째 생산품
- ID : 간접비
- t : 실 A, B, C, D의 합
- U : 변동비 원가

1. 서 론

2008년 정부는 제 16차 국가에너지절약추진위원회를 개최하여 에너지 절감을 위한 각종 대책을 발표하였다. 이 대책들 중 건물 실내 냉난방 온도 제한은 여름철 냉방온도 하한선을 26℃, 겨울철 난방온도 상한선을 20℃로 규제하고 이를 어기면 과태료를 부가하는 프랑스식 냉난방 요금체제이다. 이 요금 체제에 대해 2007년 정부에서 사전 조사한 바 있으며, 정책의 핵심은 냉난방 요금 책정 방법론이라 할 수 있겠다.

열적시스템으로부터 생산되는 일반적인 에너지는 전기와 열이다. 만약, 단일시스템으로부터 하나의 에너지만 생산된다면 그 생산품의 원가는 매우 간결하게 산정될 수 있다. 그러나 단일시스템으로부터 이종의 에너지들이 생산된다면 각 에너지의 원가를 산정하는 일은 쉽지 않게 되며, 더 나아가 산정된 원가에 타당성이 결여된다고 판단한다면 생산자 또는 구매자의 반발이 필연적일 것이다. 따라서 생산된 에너지의 원가를 합리적으로 산정할 수 있는 수식이 절실히 필요하다.

이종의 에너지를 생산하는 대표적인 시스템은 열병합발전이며, 생산된 전기와 열의 원가를 산정하는 일반적인 방법론에는 Energy method, Proportional method, Work method, Benefit distribution method 등과 같이 The World Bank사의 Technical Paper⁽¹⁾에 다양한 방법론이 소개되어 있다. 그러나 증기, 온수, 냉수, 온기, 냉기, 열음 등의 동종의 열이지만 온도 및 압력이 서로 다를 경우 각 제품에 대한 원가 산정 수식은 아직 학문적으로 개발되지 않은 듯하다.

이에 우리는 열병합발전, 보일러, 열교환기, 난방시스템, 연료전지 등의 복합에너지 시스템에 적용할 수 있는 가치방법⁽²⁾이라는 새로운 원가산정 방법론을 선행연구에서 제안한 바 있다. 본 연구에서는 다양한 에너지 시스템 중 쾌적환경을

제어하는 난방시스템을 대상으로 각 온기의 가치평가 및 공통비 투입에 대한 새로운 난방비 배분 방법론을 제안하고자 하며, 정부가 정책적으로 추진 중인 에너지 요금 체계 개선 및 에너지 절감 대책에 학문적 근거를 제공해 줄 수 있기를 기대한다.

2. 온기의 가치평가 및 원가산정 방법론

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

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

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

여기서, 하첨자 i는 N개의 생산 제품 중 i번째 생산품, 기호 C는 생산원가, κ_i 은 전달된 가치에너지량 \dot{K}_i 과 생산된 에너지량 \dot{P}_i 과의 비 또는 가치율, D_{ES} 는 열원의 투입비용, Z_{ID} 는 시스템 외적인 간접비용, Z_{DC} 는 각 제품을 생산하기 위해 공동으로 관여되는 구성기기의 비용, \dot{Z}_i 는 i번째 제품 생산에만 관여되는 구성기기의 비용, \dot{D}_i 는 i번째 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, 열병합시스템일 경우 선행 연구⁽²⁾에서 언급한 바와 같이 엔탈피, 대체전기, 대체열, 대체연료, 동일연료절약량, 엑서지 등이 해당될 수 있다. 그러나 서로 다른 온도와 습도를 갖는 온기 및 냉기들의 각 가치를 평가하는 방법론은 기존에 없는 듯하다. 따라서 공학적 가치평가 기준으로 질량(Mass), 엔탈피(Enthalpy), 엑서지(Exergy), 예상불만족률(PPD),⁽³⁾ 그리고 정부의 정책적 판단 기준으로 건구온도 등의 열쾌적지표(Thermal Comfort Index)⁽³⁾를 제시한다. 여기서, 위의 값들은 공학적으로

로 정립된 수식들이므로 설명은 생략하기로 한다.

유량계 측정법과 동일한 방법론인 질량을 기준으로 그 가치를 평가한다면, 투입된 가치에너지량 \dot{K}_i 은 $\dot{G}_i \cdot \dot{Q}_i / \dot{G}_i$ 으로 환산될 수 있고, 생산된 에너지량 \dot{P}_i 은 열량 \dot{Q}_i 이므로, 식(1)로부터 각 원가를 산정 그리고 식(2)로부터 공통비를 배분할 수 있다. 그러나 이 방법론은 소비열량을 전혀 반영하지 못한다는 점에서 단점이 있다.

열량계 측정법과 동일한 방법론인 엔탈피를 기준으로 그 가치를 평가한다면, 열역학 제 1법칙에 의해, 투입된 엔탈피량 \dot{K}_i 과 생산된 열량 \dot{P}_i 은 정확히 같으므로, 가치율 κ_i 은 항상 1이 되고, 식(1)에 의해 각 원가는 서로 동일하게 산정된다.

열역학 제 1법칙과 제 2법칙으로부터 유도된 가용일, 즉 엑서지를 기준으로 그 가치를 평가한다면, 투입된 엑서지량 \dot{K}_i 과 생산된 열량 \dot{P}_i 으로부터 가치율 κ_i 을 구할 수 있고, 식(1)과 식(2)에 의해 원가산정과 공통비배분을 수행할 수 있다.

실내 열환경에 대한 인체의 불편감을 수식화한 예상불만족률(PPD)⁽³⁾을 기준으로 그 가치를 평가한다면, 가치율 κ_i 은 습공기선도 상에서 PPD 5% 값을 기준으로 우측상태일 경우 $95 + PPD_i$, 좌측상태일 경우 $105 - PPD_i$ 로 대입하고자 한다. 이 경우 실의 쾌적상태에 따라 각 온기의 원가가 서로 다르게 산정되며, 결국 생산원가의 차등화로부터 소비자의 자발적인 에너지 절감을 유도할 수 있는 요금체계라 할 수 있을 것이다.

한편, 정부의 정책적 판단으로부터 요금을 결정할 수도 있으며, 이 경우 다양한 방법론이 제시될 수 있다. 예를 들어 2008년 정부의 방침은 엔탈피를 기준으로 하는 요금체계에 여름철 냉방온도 하한선을 26℃ 이상 겨울철 난방온도 상한선을 20℃이하로 규제하고 이를 어기면 정책적 결정으로 과태료를 부과하는 방식이다. 이외에, 건물의 평균 실내온도를 기준으로 1℃당 몇 %의 할인 혹은 할증을 하는 실내온도비례방식 등 다양하게 제시될 수 있다.

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 생산품의 가치를 사용목적에 맞도록 합리적으로 평가하기 위해, 다양한 공학적 가치평가 기준이 개발되어야 하겠다.

3. 원가산정 및 비용배분 수행

예열기, 히터, 스프레이, 그리고 4개의 실로 이루어진 Fig. 1과 Fig. 2의 난방시스템은 실A, 실B, 실C, 그리고 실D에 각각 온기를 공급한다. 여기서, 주어진 시스템을 해석하기 위해 본 연구그룹에서 개발한 싸이플랜(PsyPlan) 1.0 소프트웨어를 이용하였고, 각 상태, 과정, 및 혼합에 대한 시스템 해석 결과값이 Table 1에 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 온기의 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 실 A로 투입된 온기의 열량 149.0 MJ/h, \dot{Q}_B 는 실 B로 투입된 온기의 열량 139.6 MJ/h, \dot{Q}_C 는 실 C로 투입된 온기의 열량 157.6 MJ/h, \dot{Q}_D 는 실 D로 투입된 온기의 열량 318.7 MJ/h 이고, \dot{Q}_{ES} 는 총 투입된 열량 1195.4 MJ/h, C_{ES} 는 그 투입된 열량의 단가이며, 본 예제에서는 10\$/GJ을 적용하였다. 따라서 투입된 열량의 가격흐름은 11.954 \$/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 $\dot{G}_i(h_6 - h_1)$, 엔탈피 기준일 경우 $\dot{G}_i(h_i h_1)$, 엑서지 기준일 경우 $\dot{G}_i(e_{X,i} - e_{X,1})$ 이며, Table 2에 그 값이 계산되어 있다.

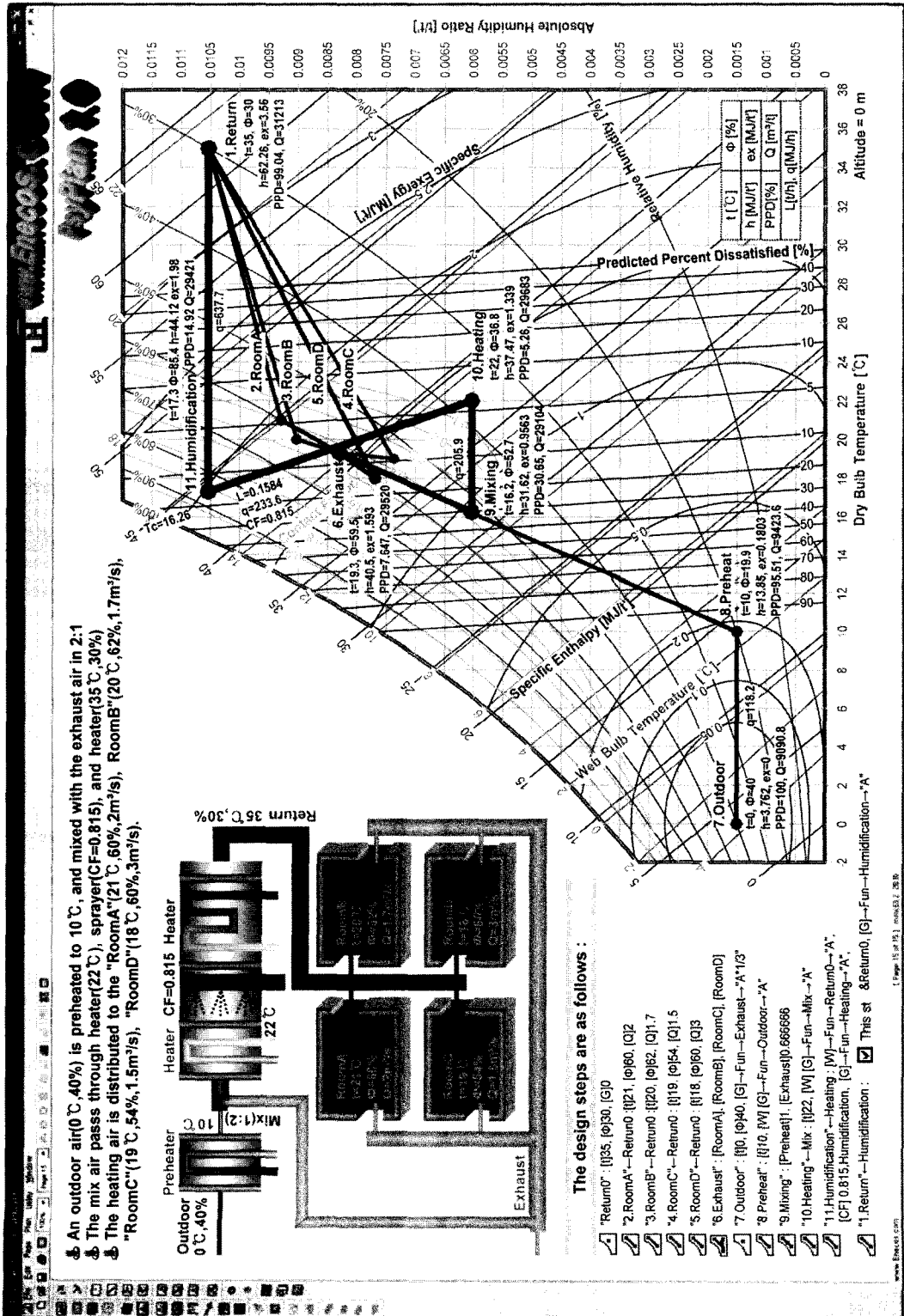


Fig. 1 An air-conditioning system composed with pre-heater, heating coil, spray, and four rooms.

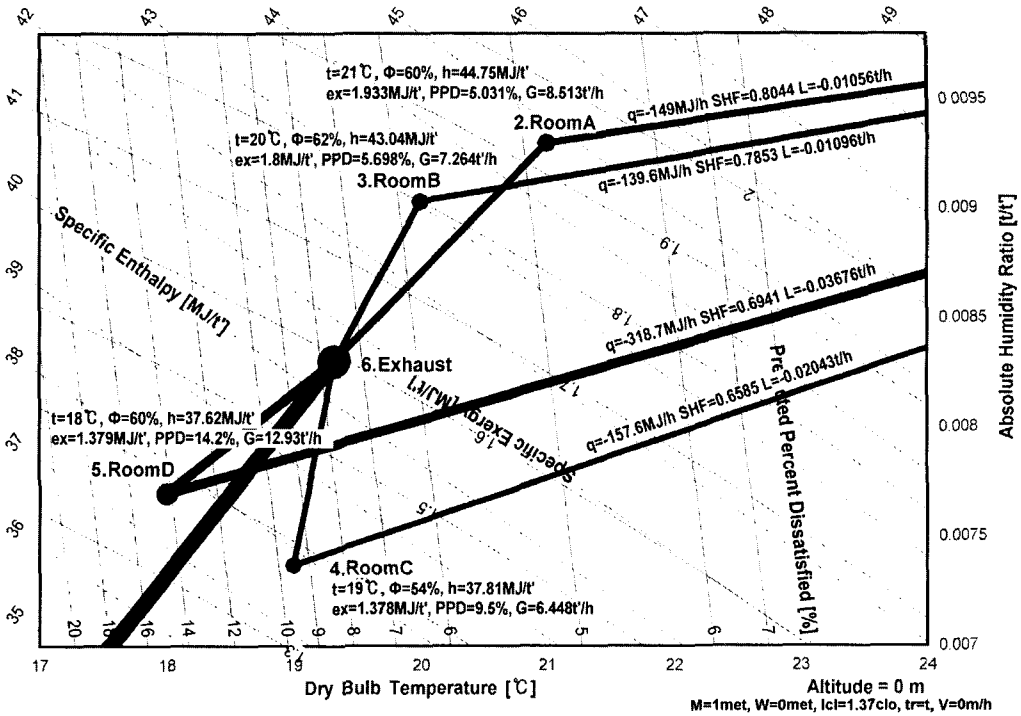


Fig. 2 The values of mass, enthalpy, exergy, and PPD on the each room.

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

4. 결과 및 토의

Table 2에는 열원 투입비용 11.954 \$/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 온기의 원가 비율은 Case 1)과 같이 질량 기준일 경우 30.0%, 27.3%, 21.5%, 21.3%로, Case 2)와 같이 엔탈피 기준일 경우 모두 25.0%로, Case 3)과 같이 엑서지 기준일 경우 25.7%, 25.3%, 24.6%, 24.4%로, Case 4)와 같이 예상불만족률 기준일 경우 25.9%, 25.8%, 24.8%, 23.5%로 산정되었다. 한편 정책적 결정의 예로서, Case 5)와 같이 온도비례를 적용할 경우 즉 평균실내온도 19.3 °C를 100% 기준으로, 1 °C 상승할 때마다 5%의 가치 할인 또는 할증을 부여할 경우 26.9%, 25.6%, 24.4%, 23.1%로, 1 °C 상승할 때마다 10%의 가치 할인 또는 부과를 부여할 경우 28.7%, 26.2%, 23.8%, 21.3%로 산정되었다. 여기서, 공기조화 분야에는 열쾌적지표로 다양한 종류의 온도가 있지만, 이해의 편의상 건구온도를 대상으로 하였다.

한편, Case 1) 즉 질량 기준 방법은 각 실의 열소비량을 전혀 고려하지 않으므로 그 검토를 생략하기로 한다. 이 원가산정결과는 결국 Case 2) 즉 엔탈피 적용을 기준으로, Case 3) 즉 엑서지를 적용할 경우 각 실의 가감된 비용배분률은 +3.2%,

Table 1 Each state, process, and mixing value on the system of Fig. 1

TERM	Symb	Unit	Return	RoomA	RoomB	RoomC	RoomD	Exhaust	Outdoor	Preheat	Mix	Heat	Humid
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dry Bulb Temp.	t	℃	35	21	20	19	18	19.3	0	10	16.2	22	17.3
Web Bulb Temp.	t'	℃	21.5	16	15.4	13.5	13.4	14.5	-3.61	2.52	11	13.4	15.8
Absolute Humidity	W	t/t'	0.0105	0.0093	0.0090	0.0074	0.0077	0.0083	0.0015	0.0015	0.0060	0.0060	0.0105
Relative Humidity	φ	%	30	60	62	54	60	59.5	40	19.9	52.7	36.8	85.4
Specific Enthalpy	h	MJ/t'	62.26	44.75	43.04	37.81	37.62	40.5	3.762	13.85	31.62	37.47	44.12
Specific Volume	v	m ³ /t'	887.8	845.8	842.6	8375.	835.0	839.6	775.7	804.1	827.8	844.3	836.8
Sensible Heat Factor	SHF		0.9809	0.8044	0.7853	0.6585	0.6941			0.9972		0.989	-0.7093
Enthalpy-Humidity Diff.	U	MJ/t	-7E+17	14120	12730	7716	8668			2E+17		-3E+17	1475
Vapor Pressure	Ps	kPa	1.688	1.493	1.45	1.187	1.239	1.334	0.2445	0.2445	0.9737	0.9737	1.688
Mole Fraction Ratio	σ	molv/molt	0.0167	0.0147	0.0143	0.0117	0.0122	0.0134	0.0024	0.0024	0.0096	0.0096	0.0167
Dew Point Temp.	td	℃	14.8	12.9	12.5	9.49	10.1	11.2	-10.7	-10.7	6.58	6.58	14.8
Degree of Saturation	μ	%	28.81	59.4	61.45	53.45	59.5	58.96	39.85	19.71	52.27	36.2	85.15
Density	ρ	t/m ³	0.001140	0.00119	0.00120	0.00120	0.00121	0.00120	0.00129	0.00125	0.00122	0.00119	0.00121
Specific Entropy	s	MJ/t'℃	0.2219	0.1628	0.1569	0.138	0.1376	0.1478	0.01486	0.05113	0.116	0.136	0.1613
Specific Exergy	e _x	MJ/t'	3.56	1.933	1.8	1.378	1.379	1.593	0	0.1803	0.9563	1.339	1.98
Contact Factor	CF		-7.156	0.5976	0.624	0.4462	0.581			-0.9356		-0.5962	0.815
Uncomfort Index	UI		81.3	67.25	66.09	64	63.22	64.95	38	49.61	60.23	66.08	64.41
Discomposition Index	DI		-129.1	-11.07	-6.324	-22.03	-9.486	-11.2	0	-47.53	-21.01	-65.35	37.23
Predicted Mean Vote	PMV		2.983	0.0387	-0.1835	-0.4643	-0.6616	-0.3567	-4.717	-2.613	-1.103	0.112	0.687
Predicted Percent Diss.	PPD	%	99.04	5.031	5.698	9.5	14.2	7.647	100	95.51	30.65	5.26	14.92
Apparatus(CF) Temp.	Tc	℃	14.84	11.54	10.92	-1.11	5.63			-10.69		6.58	16.26
Apparatus(SHF) Temp.	Tf	℃	14.84	11.50	10.88	-4.76	5.34			-10.69		6.58	
Volume Flow Rate	Q	m ³ /h	31213	7200	6120	5400	10800	29520	9090.8	9423.6	29104	29683	29421
Mass Flow Rate D.A.	Ḡ	t/h	35.16	8.513	7.264	6.448	12.93	35.16	11.72	11.72	35.16	35.16	35.16
Mass Flow Rate Hum.	W·G	t/h	0.3705	0.07916	0.06559	0.04753	0.09955	0.2918	0.01763	0.01763	0.2122	0.2122	0.3705
Enthalpy Flow Rate	h·G	MJ/h	2189	380.9	312.6	243.8	486.5	1424	44.09	162.3	1112	1317	1551
Entropy Flow Rate	s·G	MJ/h℃	7.802	1.386	1.139	0.8901	1.779	5.195	0.1742	0.5993	4.078	4.782	5.67
Exergy Flow Rate	ex·G	MJ/h	125.2	16.45	13.08	8.885	17.84	56	0	2.113	33.62	47.09	69.6
(De)Humidification	L	t/h	0	-0.0106	-0.0110	-0.0204	-0.0368			0		0	0.1584
Heat Flow Rate	Ḡ	MJ/h	637.7	-149	-139.6	-157.6	-318.7	-764.9		118.2		205.9	233.6
Sensible Heat Flow	qS	MJ/h	625.5	-119.9	-109.6	-103.8	-221.2			117.9		203.6	-165.7
Latent Heat Flow	qL	MJ/h	12.19	-29.15	-29.96	-53.83	-97.48			0.3279		2.272	399.3

+ 1.7%, -0.9%, -1.8%로, Case 4) 즉 예상불만족률을 적용할 경우 +5.2%, +4.4%, +0.4%, -4.5%로, Case 5) 즉 1℃당 5% 비례를 적용할 경우 +9.3%, +4.3%, -0.8%, -5.8%로, 1℃당 10% 비례를 적용할 경우 +18.7%, +8.6%, -1.6%, -11.7%로 가감되었다. 따라서 에너지를 절약한다라고 여길 수 있는 실 D에는 상당한 양의 난방비 할인 혜택이 주어졌고, 에너지를 과소비한다라고 여길 수 있는 실 A에는 상당한 양의 난방비가 할증되었음을 볼 수 있다. 이러한 요금체계라면, 결국 실 A는 높은 난방요금으로 인해 온도를 낮춰 에너지를

절약해야 할 것이다.

Table 3에는 고정비용에 대해 식(4)와 식(2)를 적용한 원가산정 및 공통비배분 결과가 나와 있다. 수식적으로도 알 수 있듯이 고정비 중 간접비 Z_{ID} 와 공통구설기기비 Z_{DC} 는 열원투입의 비용배분율과 같고, 각 생산품의 전용기기비 Z_A , Z_B , Z_C , Z_D 는 전적으로 각 생산품에 배분된다. 여기서 난방시스템에서 각 생산품의 전용기기비는 무시할 정도이므로 각각 0으로 대입하였다.

엔탈피를 기준으로 평가하는 방법은 열역학 제

Table 2 Results of cost allocation to each warm air on the heat input cost flow 11.954 \$/h. Where, the heat \dot{Q}_A is 149.0 MJ/h, \dot{Q}_B is 139.6 MJ/h, \dot{Q}_C is 157.6 MJ/h, \dot{Q}_D is 318.7 MJ/h, and the average room temperature is 19.3 °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.	21	20	19	18	21	20	19	18	21	20	19	18	21	20	19	18
Case 1) Mass	185.2	158.1	140.3	281.4	124.3	113.3	89.0	88.3	19.43	17.69	13.91	13.80	30.0	27.3	21.5	21.3
Case 2) Enthalpy	149.0	139.6	157.6	318.7	100.0	100.0	100.0	100.0	15.63	15.63	15.63	15.63	25.0	25.0	25.0	25.0
Case 3) Exergy	13.85	12.78	14.07	28.20	9.29	9.16	8.93	8.85	16.13	15.89	15.49	15.35	25.7	25.3	24.6	24.4
Case 4) PPD					100.0	99.3	95.5	90.8	16.44	16.32	15.69	14.92	25.9	25.8	24.8	23.5
Case 5) -5%/°C					108.5	103.5	98.5	93.5	17.08	16.29	15.51	14.72	26.9	25.6	24.4	23.1
-10%/°C					117.0	107.0	97.0	87.0	18.55	16.97	15.38	13.80	28.7	26.2	23.8	21.3
	Cost Flow Rate \dot{D} [\$/h]				Cost Flow Ratio [%]				$\dot{D}/\dot{D}_2 - 1$ [%]				Total Cost Flow			
Case 1) Mass	2.895	2.470	2.193	4.397	24.2	20.7	18.3	36.8	+24.3	+13.2	-11.0	-11.7	11.954 \$/h			
Case 2) Enthalpy	2.329	2.182	2.463	4.981	19.5	18.2	20.6	41.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.954 \$/h			
Case 3) Exergy	2.403	2.218	2.441	4.892	20.1	18.6	20.4	40.9	+3.2	+1.7	-0.9	-1.8	11.954 \$/h			
Case 4) PPD	2.449	2.278	2.473	4.755	20.5	19.0	20.7	39.8	+5.2	+4.4	+0.4	-4.5	11.954 \$/h			
Case 5) -5%/°C	2.545	2.274	2.444	4.691	21.3	19.0	20.4	39.2	+9.3	+4.3	-0.8	-5.8	11.954 \$/h			
-10%/°C	2.764	2.369	2.424	4.397	23.1	19.8	20.3	36.8	+18.7	+8.6	-1.6	-11.7	11.954 \$/h			

Table 3 Results of cost allocation to each warm air on the fixed cost flow 1.848 \$/h. Where, the cost flow rate \dot{Z}_{ID} is 0.625 \$/h, \dot{Z}_{DC} is 1.223 \$/h, and $\dot{Z}_{A,B,C,D}$ is all 0 \$/h

METHOD	Unit Cost C [\$/GJ]				Unit Cost Ratio [%]				Cost Flow Rate \dot{D} [\$/h]				Cost Flow Ratio [%]			
Room	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Room Temp.	21	20	19	18	21	20	19	18	21	20	19	18	21	20	19	18
Case 1) Mass	3.00	2.74	2.15	2.13	30.0	27.3	21.5	21.3	0.448	0.382	0.339	0.680	24.2	20.7	18.3	36.8
Case 2) Enthalpy	2.42	2.42	2.42	2.42	25.0	25.0	25.0	25.0	0.360	0.337	0.381	0.770	19.5	18.3	20.6	41.7
Case 3) Exergy	2.49	2.46	2.39	2.37	25.7	25.3	24.6	24.4	0.371	0.343	0.377	0.756	20.1	18.6	20.4	40.9
Case 4) PPD	2.54	2.52	2.43	2.31	25.9	25.8	24.8	23.5	0.379	0.352	0.382	0.735	20.5	19.0	20.7	39.8
Case 5) -5%/°C	2.64	2.52	2.40	2.28	26.9	25.6	24.4	23.1	0.394	0.352	0.378	0.725	21.3	19.0	20.4	39.2
-10%/°C	2.87	2.62	2.38	2.13	28.7	26.2	23.8	21.3	0.427	0.366	0.375	0.680	23.1	19.8	20.3	36.8

1법칙의 적용으로 가장 간결하고 명확하다고 할 수 있으나 온도 및 습도에 관계없이 모든 온기의 가치는 동일하다고 평가하므로 그 적절성이 낮다고 할 수 있다. 엑서지를 기준으로 평가하는 방법은 열역학 제 1법칙과 제 2법칙의 적용으로 명확하고 온도 및 습도에 따라 온기의 가치가 시간 서로 다르게 평가되나 그 평가 기준이 유용일 즉 열기관 성능을 평가하는 것이므로 이 방법 또한 적절성이 낮다고 할 수 있을 것이다.

예상불만족률은 열역학적 법칙이 아니라, 인체와 주위 환경간의 열평형 방정식으로부터 유도된 수식과 피실험자의 불만족률과의 관계를 수식화

한 실험식이다. 따라서 나라마다 또는 개인마다 다를 수밖에 없으므로 그 값이 열역학 법칙처럼 명확한 것은 아니다. 그러나 공기조화의 목적이 인간의 쾌적한 생활환경 조성이므로, 예상불만족률을 기준으로 각 온기의 가치를 평가하는 방법이 가장 합리적인 근거를 갖는다고 판단한다.

한편, 예상불만족률은 공학적 개념으로서 일반인이 이해하기 쉽지 않다. 따라서 일반인 즉 소비자가 이해할 수 있는 어떤 가치 기준이 요구된다. Fig. 1 또는 Fig. 2의 습공기선도를 보면, 건구온도 1 °C 당 예상불만족률 약 5% 정도의 증감이 있다. 이를 근거로 평균실내온도를 기준으로

1℃당 5%의 할인 혹은 할증 요금체계는 어느 정도 타당성을 갖고 있다고 판단한다. 여기서 5%라는 값은 고정된 값이 아니라 정부 혹은 건물주가 결정해야 할 값이며, 소비자와의 분쟁은 최소가 되면서 에너지 절약은 최대로 실현하는 할인율(할증률)이 최적의 값일 것이다.

이와 같이 에너지의 가치평가로부터 산정된 요금체계는 에너지의 과소비를 방지하고, 더 나아가 에너지의 절약을 경제적으로 실현하게끔 유도하는 합리적인 방안이 될 수 있을 것으로 기대한다.

5. 결 론

단일 시스템으로부터 생산된 동종 및 이종 에너지에 대한 원가산정 및 공통비배분 방법론을 선행연구에서 제안한 바 있다. 본 연구에서는 다양한 생산품 중 실내 쾌적환경을 제어하는 온기를 대상으로 가치평가 및 비용산정을 수행하였으며, 그 가치평가 기준으로, 질량, 엔탈피, 엑서지, 예상불만족률, 그리고 다양한 열쾌적지표를 제안하였다.

각 기준을 온도와 습도가 서로 다른 난방을 수행하는 4개의 실에 적용하여 1단계) 시스템해석, 2단계) 온기의 가치평가, 3단계) 원가산정, 4단계) 공통비 배분을 수행하였다. 수행결과, 엔탈피를 기준으로 할 경우 각 온기의 원가비율은 모두 25.0%로 동일하게, 엑서지를 기준으로 할 경우 25.7%, 25.3%, 24.6%, 24.4%로, 예상불만족률을 기준으로 할 경우 25.9%, 25.8%, 24.8%, 23.5%로 산정되었다.

이 결과로부터 가치평가에 엔탈피 적용을 기준으로, 엑서지를 적용할 경우 각 실의 가감된 비용배분률은 +3.2%, +1.7%, -0.9%, -1.7%로, 예상불만족률을 적용할 경우 +5.2%, +4.4%, +0.4%, -4.5%로 산정되었다. 즉 에너지 절약을 실현하고 있는 실에는 상당한 양의 난방비 할인 혜택이 주

어졌고, 에너지를 과소비하는 실에는 상당한 양의 난방비가 할증되었다.

가치평가를 엔탈피 기준으로 할 경우 모든 온기의 가치는 항상 동일하다고 산정된다는 점에서, 엑서지 기준으로 할 경우 쾌적환경의 가치를 열기관의 성능 평가로 활용되는 유용일로 산정한다는 점에서 그 적절성이 낮다고 할 수 있다. 반면, 예상불만족률은 쾌적한 생활환경의 정도를 수치화한 수식이므로 각 온기의 가치를 가장 적절하게 평가하고 있다고 판단하며, 소비자의 에너지 절약을 자발적으로 유도하는 방법이 될 수 있을 것이다.

예상불만족률을 근거로 하여, 온기의 가치가 열쾌적지표에 선형비례 한다는 방법론을 또한 제안하여, 원가산정 및 비용배분을 수행하여 보았다. 이 방법론은 매우 간결하므로, 일반인도 쉽게 이해할 수 있고, 실제 요금체계로의 적용에서도 상당한 장점이 있을 것으로, 그리고 에너지 절감 또한 유도할 수 있을 것으로 판단한다.

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.

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. ASHRAE, 2005, ASHRAE Handbook-Fundamentals, Atlanta, Chapter 8.