

엑서지를 이용한 지역난방 열요금 제도 제안

Suggestion for a New Exergy-Based Heat-Tariff Assessment for a District-Heating System

문정환(Junghwan Moon)¹, 유호선(Hoseon Yoo)^{2†}, 이재현(Jae-Heon Lee)³, 문승재(Seungjae Moon)³

¹삼성물산(주) 건설부문 기술팀, ²승실대학교 기계공학부, ³한양대학교 기계공학부

¹Technology Team, Samsung C&T Corporation, Seongnam, 13530, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul, 07040, Korea

³Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

(Received January 24, 2017; revision received February 18, 2017; Accepted: February 20, 2017)

Abstract In this study, the exergy that can be reflected in the energetic and economic values was used to assess the heat tariff of a district heating (DH) system instead of the enthalpy. It is difficult to directly apply the exergy to the current heat-charge system because of the complicated calculation; therefore, the difference between the supply and return temperatures was converted to the exergy-temperature difference for the ease of the heat-amount calculation. As a result of the exergy analysis for a DH substation, the exergy-temperature difference did not affect the surrounding temperature and pressure loss. The supply temperature and the maximum difference between the supply temperature and the return temperature exerted the main effect on the exergy-temperature difference. The new heat charge of a DH user was slightly reduced in winter compared with the previous charge, but the heat charges in the other seasons are almost the same. It is concluded from the assessment of the heat tariff for which the exergy is used that this tariff is more feasible for both DH suppliers and consumers compared with enthalpy.

Key words District heating(지역난방), Heat tariff(열요금), Exergy(엑서지), Incentive(인센티브)

† Corresponding author, E-mail: hsyoo@ssu.ac.kr

기호설명

c : 비열 [kJ/(kg · K)]
 C : 열요금 [₩]
 g : 중력가속도 [m/s²]
 Θ : 온도차 무차원수
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 m : 질량유량 [kg/h]
 P : 압력 [Pa]
 Q : 열량 [kcal]
 s : 엔트로피 [kJ/(kg · K)]
 T : 온도 [K]
 v : 비체적 [m³/kg]
 X : 엑서지 [kJ]

z : 높이 [m]

그리스 문자

α : 열요금 단가 [₩/Mcal]
 ψ : 유동엑서지 [kJ/kg]

하첨자

0 : 주위상태
 b : 기본
 r : 지역난방 회수측
 s : 지역난방 공급측
 tot : 합계
 u : 사용
 x : 엑서지

1. 서 론

지역난방 사용자의 열요금은 계약면적 혹은 열교환기 용량에 따라 부과되는 기본요금과 실제 열사용량에

따라 부과되는 사용요금으로 구성되어 있다. 실제 사용한 열량은 지역난방 공급측 유량에 공급온도와 회수 온도차(이하 온도차)를 곱하여 산정하고 있다. 이와 같은 방식은 지역난방수(중온수)가 가지는 엔탈피 차에 근거하여 열에너지의 양을 고려한다고 볼 수 있다.

이러한 관계에 의해 지역난방 사용자설비의 설계 조건인 115℃로 중온수가 공급되고 50℃로 회수되는 경우와 110℃로 공급되어 45℃로 회수되는 경우의 사용 열량은 유량이 서로 동일하다면 같게 된다. 그러나 지역난방 열원설비에서 공급되는 중온수는 공급온도나 공급압력에 따라 열역학적으로 가치가 상이하다. 또한 115℃로 중온수를 공급하여도 지역난방 사용자에게 따라 회수온도는 높거나 낮을 수 있다. 만약 회수온도가 높으면 열원시설의 효율은 저하되고, 동일 열량을 보내주기 위한 공급유량이 증가하여 펌프 동력비는 상승하게 된다. 지역난방이 발달한 북유럽의 경우 회수온도가 높은 사용자에게 대해서는 패널티를 부과하는 제도가 운영되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 지역난방 중온수가 가지는 열역학적 에너지의 양과 질을 동시에 고려하여 열사용량에 따라 차등 요금을 적용할 수 있는 적절한 패러미터의 도입이 필요하게 되었다. 이러한 부분을 잘 설명할 수 있는 개념이 바로 엑서지(exergy)이다. Pak⁽¹⁾ 등은 엑서지를 이용하여 열병합 발전 계통의 효율을 평가하였으며, 엑서지 개념이 가장 많이 적용되는 분야이기도 하다. Can⁽²⁾ 등은 응축용 열교환기의 최적 설계를 엑서지를 이용하여 수행하였다. 이밖에도 엑서지는 지역난방 열배관의 손실 평가⁽³⁾나 열병합발전의 열 및 전력 단가 계산을 위해 경제학과 접목하여 다양하게 연구된 바 있다.⁽⁴⁻⁶⁾

엑서지는 엔탈피에 비해 개념이 다소 복잡하여 이를 바로 요금으로 적용하기에는 지역난방 공급자 및 사용자들에게 무리가 따를 수 있다. 따라서 이전 방식대로 열량 계산을 위한 기존의 공급회수 온도차는 그대로 이용하되 엑서지에 근거한 온도차로 환산함으로써 요금 산정에 쉽게 적용이 가능한 방법을 제안하고자 한다.

2. 엑서지(Exergy)와 지역난방 열요금

2.1 엑서지 개념 및 분석 대상

엑서지란 주어진 상태에서 일정한 양의 에너지에 대응하는 잠재일(potential work)로 에너지의 양과 질을 함께 설명할 수 있는 물리량이며 시스템만이 아닌 시스템과 환경의 조합된 성질로 열역학 법칙을 위배하지 않고 발생할 수 있는 최대일을 의미한다. 기존의 엔트로피는 개념적으로 이해가 용이하지 않으며 에너지의 차원이 상이하여 에너지의 질을 직접적으로 표시하기가 곤란하다.

일반적으로 열전달이 없는 정상상태 유동 엑서지(ψ)에서 위치에너지와 운동에너지는 일반적으로 그 양이 매우 적으므로 이를 무시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \cong (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

여기서 h , s 는 각각 엔탈피와 엔트로피이며, 하첨자 0 는 주위상태를 의미한다. 식(1)은 열역학 제 1, 2법칙에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi = c(T - T_0) - v(P - P_0) + cT_0 \ln \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

여기서 c 는 비열, v 는 비체적이다.

비압축성 유체의 경우 식(2) 우변의 두 번째 항을 보통 무시하나 지역난방 중온수는 고온고압(설계기준 115℃, 1.6 MPa)의 압축수로 열교환기와 배관에서의 압력손실을 고려하기 위하여 포함시켰다.

엑서지 사용량에 따라 지역난방 요금을 산정하는 방법을 제안하기 위하여 열사용시설 내 열교환기의 입출구 영역을 검사체적으로 설정하였으며 이를 Fig. 1에 나타내었다.

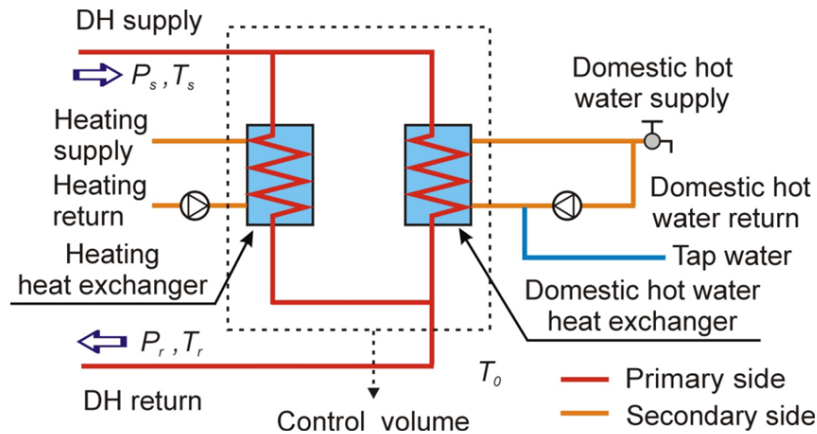


Fig. 1 Schematic of district heating substation and control volume for exergy analysis.

열교환기는 난방용과 급탕용으로 나뉘며, 열교환기 설계 기준은 지역난방측(1차측) 난방 공급온도가 115℃, 회수온도는 50℃(복사난방 기준)이다.⁽⁷⁾ 급탕의 경우는 공급온도 75℃, 회수온도 35℃로 설계하고 있다. 또한 지역난방측 공급압력 기준은 1.6 MPa이며, 배관 내의 흐르는 유체는 중온수로서 유동 엑서지를 이용하여 지역난방 요금 제도를 산정하였다.

2.2 엑서지 이용 열요금 산정 방법

현재 지역난방 사용자의 열요금은 기본 요금(C_b)과 사용 요금(C_u)으로 구성되어 있으며, 한국지역난방공사에서 부과하고 있는 요금 단가(2016년 기준)를 Table 1에 나타내었다. 여기서 사용 요금은 시간당 공급 유량과 온도차를 곱하여 산정하며, 엔탈피 기반의 기존사용 요금은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{tot} = C_b + C_u = C_b + \alpha \times \sum \bar{m} c \Delta T \Delta t \quad (3)$$

여기서 α 는 단가, \bar{m} 은 유량, ΔT 는 온도차, Δt 는 시간간격이다.

한편 엑서지를 이용하여 제안하고자 하는 사용요금(C_x)은 식(4)와 같이 정의할 수 있으며, 식(3)의 C_u 를 대신하는 것이다. 요금 산정의 편의를 위해 엑서지 사용량을 기존 사용 열량으로 변환하기 위하여 Fig. 2와 같은 엑서지 온도차를 도입하였다.

Table 1 Heat tariffs with customer type

Type	C_b [₩/(Mcal/h)]	α [₩/Mcal]		
		Single	Grade	
Residential	52.40 ¹⁾	66.05	Spring/Fall	64.73
			Summer	58.25
			Winter	67.99
Commercial	396.79	85.77	Peak time ²⁾	98.65
			non-peak time	81.48
Public	361.98	74.90	Peak time ²⁾	86.13
			non-peak time	71.16

1) Unit : ₩/㎡(based on heating area by contract).

2) 7-10 AM.

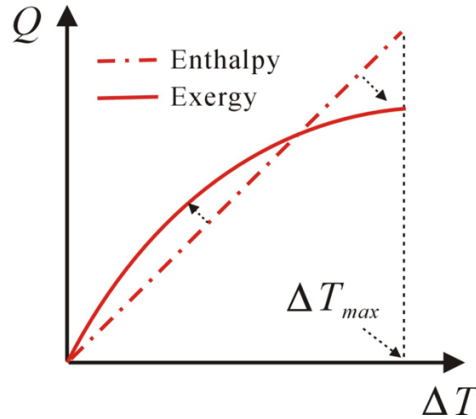


Fig. 2 Concept of heat tariff assessment using exergy.

$$C_x = \alpha \times \sum \bar{m}c \Delta T_x \Delta t \quad (4)$$

여기서 ΔT_x 는 엑서지 온도차이다.

엑서지 사용량(X_{tot})은 단위시간당 엑서지를 적분하여 얻을 수 있으며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{tot} = \int \dot{X} dt \approx \sum \bar{X} \Delta t \quad (5)$$

단위시간당 엑서지 사용량은 식(2)의 지역난방 공급측과 회수측의 유동 엑서지 차이로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{X} = \dot{m}(\psi_s - \psi_r) = \dot{m}c \left[(T_s - T_r) - T_o \ln \frac{T_s}{T_r} + \frac{v}{c} (P_s - P_r) \right] = \dot{m}c \left[\Delta T - T_o \ln \frac{T_s}{T_r} + \frac{v}{c} \Delta P \right] \quad (6)$$

한편 기존의 열사용량은 식(7)과 같다.

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \approx \sum \bar{Q} \Delta t = \sum \bar{m}c \Delta T \Delta t \quad (7)$$

식(6)의 엑서지 사용량은 기존의 온도차에 추가되는 부가항들로 계산이 다소 복잡해진다. 그러나 열이 가지는 질적 가치를 부여하고 공급자와 사용자 모두에게 합리적인 방식으로 접근하기 위하여 다음과 같은 원리를 적용하였다.

요금에 대한 공급자 및 사용자의 민감성을 고려하여 일정한 온도차 범위 내에서 기존의 엔탈피 기반의 요금과 엑서지 기반의 평균 요금은 서로 같아 실질적으로는 요금 합계의 차이가 없도록 하였다. 또한 일정한 온도차 범위 내에서 기준이 되는 온도 이상의 경우에는 열사용이 많은 경우이므로 사용자에게 할인되도록 하고, 기준 온도 이하일 경우에는 요금이 할증되도록 하였다. 위 개념을 이용하면 지역난방 열요금 부과 시 회수온도가 낮은 우수 사용자에게는 일종의 인센티브(incentive)를 제공하고, 회수온도가 높은 불량 사용자에게는 패널티(penalty)를 적용할 수 있는 물리적 근거가 될 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이 엑서지 기반의 요금(C_x)이 기존 요금(C_u)과 평균이 같기 위해서는 식(6)의 엑서지 사용량의 적분값과 식(7)의 실제 열사용량 적분값이 일정한 온도차 범위 내에서 같은 기준 온도차와 엑서지 온도차의 관계를 찾을 수 있다. 따라서 엑서지 사용량에 의해 사용 열량으로 환산하기 위해 도입한 엑서지 온도차는 식(8)과 같이 나타낼 수 있으며, 비체적과 비열은 온도의 함수이나 일정하다고 가정하였다.

$$\Delta T_x = \left[\Delta T - T_o \ln \frac{T_s}{T_r} + \frac{v}{c} \Delta P \right] \times \frac{\int_0^{\Delta T_{\max}} \dot{Q} d\Delta T}{\int_0^{\Delta T_{\max}} \dot{X} d\Delta T} \quad (8)$$

여기서, $\int_0^{\Delta T_{\max}} \dot{Q} d\Delta T = \dot{m}c \frac{\Delta T_{\max}^2}{2}$,

$$\int_0^{\Delta T_{\max}} \dot{X} d\Delta T = \dot{m}c \left[\frac{\Delta T_{\max}^2}{2} + T_o (T_s - \Delta T_{\max}) \times \ln \left(\frac{T_s}{T_s - \Delta T_{\max}} \right) - T_o \Delta T_{\max} + \frac{v}{c} \Delta P \Delta T_{\max} \right]$$

식(8)에 나타낸 바와 같이 엑서지 사용량에 근거하여 엑서지 온도차를 이용하면 기존의 엔탈피를 기준으로 계산된 온도차 대신 쉽게 열량으로 환산되어 열요금을 산정할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

엑서지 온도차는 주위온도, 공급온도, 압력차 그리고 최대 온도차에 따라 변화하므로 각 변수가 엑서지 온도차에 미치는 영향을 분석하였다. 기준 조건으로는 주위온도 25°C, 공급온도 100°C, 압력차 및 최대 온도차가 각각 100 kPa, 70°C인 경우로 선정하였다.

3.1 엑서지 온도차 분석

3.1.1 주위 온도의 영향

주위온도가 엑서지 온도차에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기준 조건에서 주위온도가 5°C에서 25°C까지 변할 때 엑서지 온도차를 Fig. 3에 나타내었다.

엑서지 온도차가 기준 온도차와 같은, 즉 기준 요금과 엑서지 요금이 동일한 온도차는 주위온도에 상관없이 48°C로 일정하게 나타났다.

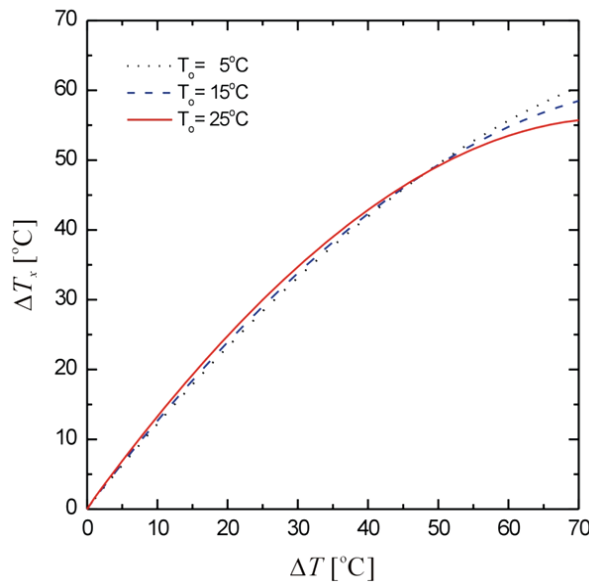


Fig. 3 Variations of exergy temperature difference with surrounding temperature.

엑서지 온도차는 기존 온도차의 2차 함수에 가깝게 나타나며, 주위온도가 높아질수록 기존 온도차와 차이가 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 주위온도가 증가함에 따라 비가역성이 증가하여 엑서지 손실량이 커지기 때문이다.

온도차가 48°C 이하의 범위에서 주위온도에 엑서지 온도차의 최대 차이가 약 2°C인데 비해 48°C 이상의 범위에서는 온도차가 70°C인 경우 주위온도가 5°C인 경우와 25°C인 경우의 엑서지 온도차가 4°C 정도로 다소 큰 차이를 나타내고 있다. 이 결과로부터 다른 조건들이 일정할 때 주위온도에 따른 엑서지 온도차는 동절기보다 하절기에 엔탈피 온도차와 차이가 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.1.2 공급온도의 영향

공급온도가 엑서지 온도차에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기준 조건에서 공급온도가 85°C에서 115°C 까지 변할 때 엑서지 온도차를 구하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

엑서지 온도차가 기존 온도차와 같은 경우는 공급온도에 상관없이 모두 48°C로 나타났으며 이를 기준으로 공급온도가 높아짐에 따라 엑서지 온도차는 기존 온도차에 근접하는 것을 알 수 있다.

이를 통해 공급온도가 높은 동절기의 경우 온도차에 따라 요금 차이는 다소 적으며, 공급온도가 낮은 중간기나 하절기로 갈수록 온도차에 따라 기존 요금과의 차이는 커질 것으로 예상된다.

온도차가 48°C 미만의 경우 공급온도에 따른 최대 엑서지 온도차는 2°C 정도로 영향이 적지만, 온도차가 48°C 이상의 경우 그 차이는 점점 커지며 온도차가 70°C일 경우에는 공급온도 차이에 따라 엑서지 온도차가 약 11°C까지 증가하는 것을 알 수 있다.

3.1.3 압력 손실의 영향

압력 손실이 엑서지 온도차에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기준 조건에서 압력차가 50 kPa에서 150 kPa까지 변할 때 엑서지 온도차를 구하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

엑서지 온도차가 기존 온도차와 같은 경우는 압력손실이 50 kPa일 때 48°C였으며, 100 kPa일 때 48°C, 150 kPa일 때 49°C인 것으로 나타났다. 압력손실 증가에 따른 엑서지 온도차는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있으며, 이는 비록 중온수가 고온의 압축수이나 열교환기나 배관에서의 마찰손실에 의한 유동 엑서지 손실은 무시할 수 있을 정도이며, 비압축성 특성이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

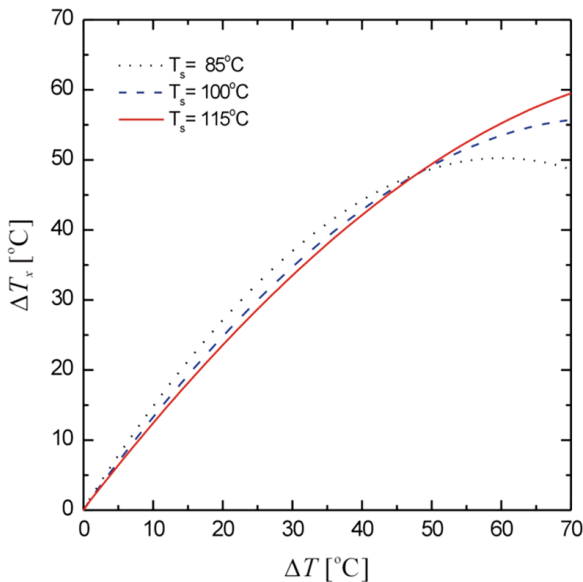


Fig. 4 Variations of exergy temp. difference with supply temperature.

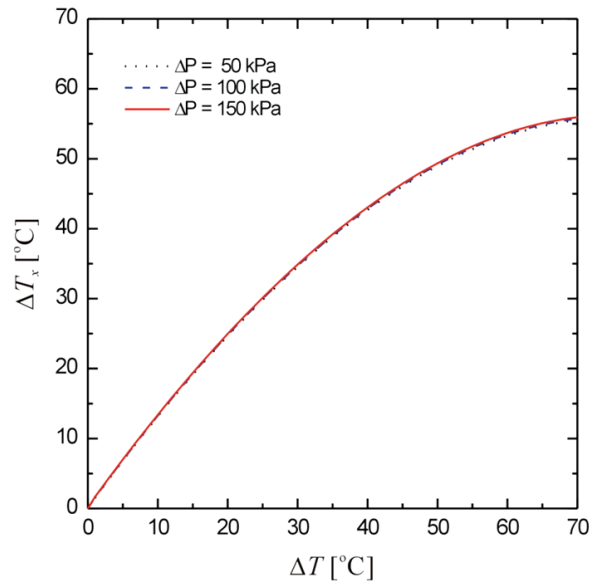


Fig. 5 Variations of exergy temperature difference with pressure loss.

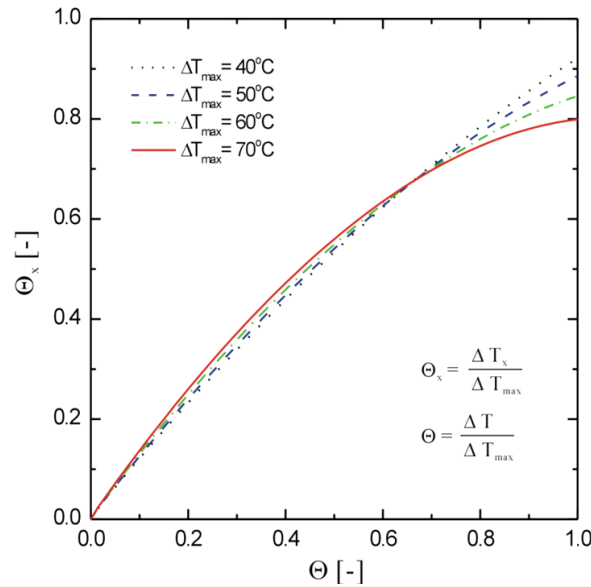


Fig. 6 Variations of exergy temperature difference with maximum temperature difference.

3.1.4 최대 온도차의 영향

최대 온도차가 엑서지 온도차에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기준 조건에서 최대 온도차가 40°C에서 70°C까지 변할 때 엑서지 온도차를 구하고 이를 무차원화하여 Fig. 6에 나타내었다.

기준의 온도차와 엑서지 온도차와 일치하는 온도는 모든 경우가 무차원 온도차가 0.7일 때이다. 이는 최대 온도차가 40°C일 때 29°C, 50°C일 때 36°C, 60°C일 때 42°C, 70°C일 때 49°C로 최대 온도차가 클수록 증가하며, 최대 온도차가 작을수록 기준 온도차에 접근하는 경향을 나타냈다.

위의 결과를 통해 기준 요금과 엑서지 요금이 같도록 하는 최대온도차의 범위에 따라 요금의 인상폭과 인하폭이 크게 달라질 수 있다. 이에 따라 지역난방 사용자에게 실제 적용할 경우 사용자 성격(공동주택, 상업용 등)이나 지역별 열원시설의 공급온도 특성 등을 면밀히 고려하여 최대온도차의 범위를 설정하여야 할 것이다.

3.2 엑서지 요금 적용 예

엑서지 사용량을 기반으로 한 요금을 실제로 적용하여 기존 요금과의 차이를 살펴보기 위하여 기존 연구를 통해 측정되었던 청주의 지역난방 사용자의 열사용 데이터⁽⁸⁾를 이용하였다. 사용자의 열교환기 용량은 난방과 급탕을 합쳐 1,020 Mcal/h이며, 사용요금 단가는 Table 1에서 계산의 편의를 위해 단일 요금을 적용하였다.

엑서지 온도차를 계산하기 위한 기준 조건은 동절기 주위온도 5°C, 공급온도 115°C, 압력차 및 최대 온도차가 각각 100 kPa, 70°C인 경우이다. 중간기에는 주위온도와 공급온도만 각각 15°C, 100°C로 변경하여 계산하였다.

계절별로 각각의 기준 조건에서 엑서지 온도차함수를 구하여 일일 측정데이터를 시간대별로 계산하였으며 동절기, 중간기(봄)의 일일 열사용량을 각각 Table 2, Table 3에 나타내었다. Table 2에 나타낸 동절기의 일일 열사용량 기준으로 계산한 기존 요금은 약 919,000원이며, 엑서지 요금 제도의 경우에는 약 896,000원으로 2.5% 정도 감소한 것으로 나타났다. 하루 중 대부분의 시간 동안 온도차가 48°C 이상을 유지함으로써 대부분의 시간대에서 요금이 다소 인하되는 것을 알 수 있다.

중간기의 경우 Table 3의 일일 총 열사용량을 기준으로 계산한 기존 요금은 약 63만 원, 엑서지 요금 제도의 경우에는 약 62만 원으로 인하 효과는 미미하게 나타났다. 추가적으로 계산한 하절기의 경우에도 기존 요금과 엑서지 요금은 모두 유사한 결과값을 갖는 것으로 나타났다. Table 4는 동절기와 중간기의 엔탈피 기준 및 엑서지 기준으로 계산한 열요금을 요약한 것이다.

Table 2 Heat amount of a commercial DH user for a day in winter season

t [h]	\dot{m} [ton/h]	ΔT [°C]	ΔT_x [°C]	Q [Mcal]	Q_x [Mcal]
1	5.29	47.1	47.4	249.2	251.0
2	6.44	51.5	50.7	331.7	324.6
3	5.41	56.8	54.5	307.1	294.4
4	2.67	62.5	58.3	166.8	157.5
5	2.15	61.2	57.5	131.5	126.4
6	5.33	65.4	60.1	348.5	318.7
7	9.07	63.8	59.1	578.6	538.2
8	3.15	48.6	48.5	152.9	155.3
9	3.40	55.7	53.8	189.6	182.8
10	3.54	57.7	55.1	204.2	193.0
11	4.18	60.7	57.1	254.0	240.0
12	4.01	61.2	57.5	245.2	229.9
13	4.47	61.7	57.8	275.8	260.1
14	2.75	64.0	59.3	176.0	165.9
15	4.13	61.3	57.5	252.9	235.9
16	3.81	59.8	56.6	227.7	214.9
17	3.55	62.8	58.5	222.7	210.6
18	4.31	61.1	57.4	263.6	246.9
19	3.14	59.5	56.4	186.9	174.7
20	3.95	60.6	57.1	239.4	228.3
21	4.62	60.8	57.2	280.7	263.2
22	5.79	50.6	50.0	293.0	290.2
23	4.62	48.1	48.1	222.3	221.4
24	4.86	42.0	43.2	204.0	211.9
Total				6004.3	5735.8

Table 3 Heat amount of a commercial DH user for a day in spring season

t [h]	\dot{m} [ton/h]	ΔT [°C]	ΔT_x [°C]	Q [Mcal]	Q_x [Mcal]
1	0.83	50.9	49.8	42.2	41.4
2	1.05	51.8	50.4	54.4	52.9
3	2.16	49.5	49.0	106.9	105.7
4	3.50	53.0	51.1	185.5	178.8
5	1.44	51.5	50.2	74.2	72.3
6	6.02	58.1	53.9	349.8	324.3
7	4.49	55.3	52.4	248.3	235.2
8	2.60	55.1	52.3	143.3	135.9
9	1.63	51.2	50.0	83.5	81.5
10	3.29	55.0	52.2	181.0	171.8
11	1.46	58.2	53.9	85.0	78.7
12	1.85	51.2	50.0	94.7	92.5
13	1.72	50.6	49.6	87.0	85.4
14	0.51	55.1	52.3	28.1	26.7
15	1.83	42.3	44.0	77.4	80.6
16	1.49	52.1	50.6	77.6	75.3
17	1.12	52.4	50.7	58.7	56.8
18	2.50	50.9	49.8	127.3	124.6
19	1.76	56.8	53.2	100	93.6
20	1.73	41.2	43.2	71.3	74.8
21	2.21	55.8	52.7	123.3	116.4
22	1.65	56.4	53.0	93.1	87.4
23	1.63	54.1	51.7	88.2	84.3
24	1.62	56.4	53.0	91.4	85.8
Total				2671.9	2562.5

Table 4 Comparison of heat tariff with assessment methodology

Heat tariff		Enthalpy [₩]	Exergy [₩]	Difference [%]
Winter	C_b	404,725	404,725	-
	C_u	514,989	491,960	4.5
	C_{tot}	919,714	896,685	2.5
Spring	C_b	404,725	404,725	-
	C_u	229,168	219,785	4.1
	C_{tot}	633,893	624,510	1.5

청주 지역난방 사용자의 경우 온도차가 연간 50℃ 이상으로 유지되어 비교적 온도차가 크게 유지되고 있으므로 우수한 사용자로 할인혜택을 부여할 수 있다. 그러나 회수온도가 높아 온도차가 적은 불량 사용자에게는 페널티를 부여하는 의미로 요금이 다소 인상되도록 조정하는 방법도 가능할 것이다.

이와 같이 엑서지의 개념을 이용하면 시간별, 계절별로 차등 요금 부과가 가능하고, 열공급시설의 효율 보상과 열사용에 따른 인센티브 또는 페널티 부과의 측면에서도 합리적인 요금 산정이 가능하다. 따라서 엑서지 개념을 이용한다면 본 연구결과가 기존의 지역난방 열요금 체계 개선을 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 엑서지를 이용한 지역난방 열요금 제도를 제안하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 엑서지 사용량에 영향을 미치는 주요 요인은 지역난방 공급온도와 공급-회수의 최대 온도차이며, 이에 따라 엑서지 기반의 사용 요금은 기존 요금과 큰 차이를 보일 수 있다. 따라서 공급온도 및 온도차가 상이하게 나타나는 지역난방 사용자 성격과 지역별 열원시설에 따라 엑서지 계산을 위한 기준 조건 설정이 중요하다.
- (2) 엑서지에 기초한 요금 제도를 실제 지역난방 우수 사용자에게 적용한 결과, 동절기에는 평균적으로 요금이 다소 인하되고, 중간기와 하절기에는 요금이 유사하게 나타나 전체적으로 인하되는 효과가 있다.
- (3) 엑서지를 이용한 요금 제도는 시간별, 계절별로 차등 요금 적용이 가능하고, 열공급시설의 효율 보상과 열사용에 따른 할인 혜택 혹은 페널티 부과 측면에서 공급자와 사용자 모두에게 합리적으로 적용 가능한 방안이 될 것으로 판단된다.
- (4) 향후 일정 회수온도 이상의 범위에서는 인센티브만 제공하는 탄력적인 요금 체계나 일정 회수온도 이하에서는 페널티를 부과하는 등 다양한 요금 산정 시나리오에 따른 분석 및 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국지역난방공사의 지원을 받아 수행한 연구 과제이며 이에 감사의 말을 전합니다.

References

1. Pak, P. S. and Suzuki, Y., 1997, Exergetic evaluation of gas turbine cogeneration system for district heating and cooling, International Journal of Energy Research, Vol. 21, No. 3, pp. 209-220.
2. Can, A., Buyruk, E., and Eryener, D., 2002, Exergoeconomic analysis of condenser type heat exchangers, Exergy,

Int. Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 113-118.

3. Kemal, C., Bedri, Y., and Omer C., 2004, Evaluation of energy and exergy losses in district heating network, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, No. 7, pp. 1009-1017.
4. 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, pp. 360-371.
5. Kim, D. J. and Lee, K. W., 2004, Cost accounting of electricity and heat on comined cycle cogeneration, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 673-682.
6. Kim, D. J. and Lee, K. W., 2005, Cost accounting of heat and electricity of a combined cycle cogeneration system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 560-568.
7. KDHC, 2016, Standard of District Heating Substation.
8. Lee, E. T., Moon, J. H., Lee, J. H., Yoo, H. S., Cho, S. H., Choi, E. S., Kim, S. H., and Kim, Y. H., 2007, Analysis on the heat consumption in special facilities connected by district heating, *Proceedings of SAREK*, pp. 989-994.