

미활용에너지의 열 포텐셜 평가 수법에 관한 연구

정 용 현

부경대학교 환경시스템공학부

(2005년 11월 28일 접수; 2006년 3월 28일 채택)

Study on Evaluation Method of Thermal Potential of Unused Energy

Yong-Hyun Chung

Division of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

(Manuscript received 28 November, 2005; accepted 28 March, 2006)

The increase in environmental loads and energy consumptions has resulted in the need of developed new forms of energy for a sustainable use for the society. Recently, the viability of using unused energy has attracted a great deal of attention. From the view point of using unused energy, the most critical problem can be referred to as the distance between the heat source/sink and heat demand area. The water resource in the city water system was used to solve this distance problem with unused energy. The calculation method of the potential use unit was used to survey the potential of the water resource in the city water system. The amount of theoretical unused energy and energy savings in the model city were estimated using this method. It is estimated that the amounts of energy savings and CO₂ reduction correspond to 131.3 GWh and 29280[t-C], respectively, per annual basis.

Key Words : Unused energy, Energy savings, Unit method, CO₂ reduction

1. 서 론

도시 대사계 내에서의 미 이용에너지원에는 열원으로 사용하는 것에 따라 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 에너지 소비 효율을 높이는 것으로 자연에 풍부하게 존재하는 자연에너지 중 그 활용이 도시 환경에 생태학적으로 크게 영향을 주지 않는 수계(하천수, 해수)의 열원, 도시에서 인간 활동을 위하여 필연적으로 존재하는 공공시설로부터 얻는 열(쓰레기 소각장, 하수처리장, 화력발전소, 변전소), 공공시설 이외에서 발생하는 열(지하철, 냉동창고)로 나눌 수 있다. 수계의 열원들은 온도차 에너지로 불리며, 여름철에는 수온이 기온보다 낮고, 겨울철에는 높은 온도를 유지하는 특징을 이용하여, 히트펌프의 열원으로 활용함으로써 히트펌프 효율을 높여 전력소비를 절약하는 것이다. 이는, 물이 공기보다 전열특성이 큰 것에 기인한 것으로, 예를 들면 같은 온도에서 수

열원이 공기열원에 비하여 에너지 절약효과를 가지는 것이다. 또한, 폐기물 소각 열 등은 자체 열원만으로 수요를 만족할 수 있는 것으로, 인구의 변화에 따라 이용 가능량이 변화될 수 있는 특징이 있다.

미활용 에너지 연구에 대한 배경에는, 도시 내에서 에너지·환경에 대한 관심 증가와 에너지소비량 가운데 상대적으로 높은 비율을 차지하는 민생용 열수요 증가, 수 대사계(하천수, 해수, 하수 처리수) 및 각종 도시 폐열 등의 증가 등의 요인을 들 수 있다. 그에 따라 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다¹⁻⁴⁾.

이는 도시 내 에너지 절약을 목적으로 활용한 것으로, 활용을 위한 시스템의 도입은 장기에 걸친 프로젝트로 지역내의 민생용 열수요, 이용 가능한 열원 등의 장래 전망 및 현재의 평가를 통하여 종합적으로 평가되어야 하며 이를 위해서는 에너지 절약성, 환경친화성 등의 다방면에 대한 평가 지표의 산출 기초가 필요하다. 따라서 본 연구전의 선행 연구^{5,6)}에서는 모델도시를 대상으로 하여 그 지역을 격자로

Corresponding Author : Division of Environmental Engineering,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
Phone: +82-51-620-6443
E-mail: chungyh@pknu.ac.kr

나는 후 열수요 추정 및 경년 변화와 히트펌프의 성능을 모델화 하여 지역 내에 이용 가능한 열량을 평가하였다. 또한 열수요와 지리적 불일치에 대한 문제점도 도출하였다.

환경과 에너지의 관계로부터 발생하는 지구 온난화 현상의 주 요인인 CO₂ 저감대책 및 환경부하 저감대책의 일환으로 선진국에서는 83개 지역에서 미 이용에너지를 이미 활용하여, 생활환경 개선이나 에너지 절약에 성과를 올리고 있다⁷⁾. 우리나라에서도 2010년에 '90년도 대비 이산화탄소 배출량이 3.3배로 증가될 전망이다. 이에 대한 대비가 불가피하다⁸⁾. 또한, 국가 기술위원회가 선정한 유망 신기술 중 ET분야에서 미활용 에너지 이용기술이 선정된 점을 감안하면 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다⁹⁾. 그러나, 미 이용에너지를 평가하는데 있어서 우리나라의 경우 열원에 대한 부존량 정도만 파악되어 있는 실정⁹⁻¹¹⁾으로 실제 공급 가능량 등의 파악 및 정량적인 평가가 부족한 실정이다. 또한, 미활용 에너지 활용에 있어서 극복해야할 문제점으로는 열원과 수요지의 지리적 불일치가 미활용 에너지 활용을 제한하고 있어서 이를 극복하는 것이 중요한 과제로 지적되고 있다.

본 연구에서는 실제 이용 가능량에 대한 평가를 기준으로 새로운 지역에서의 미활용 에너지 도입가능성을 평가할 수 있는 원단위법을 제안하였다. 또한, 미 이용에너지 활용의 문제점으로 지적되는 지리적 불일치를 극복하는 수단으로, 도시 내에 존재하는 상수를 열 수요지와 열원지를 연결시켜 열원으로서의 가능성을 평가할 수 있게, 모델도시를 중심으로 열적 포텐셜을 평가하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 수자원 열원의 열적 포텐셜

일반적인 수자원의 열적 포텐셜에 대한 평가방법과 달리 본 연구의 대상인 상수를 열원으로 활용하였다. 따라서, 상수에 대한 열적 포텐셜을 평가하기 위하여 원단위법에 대한 기본적인 검토를 실시하였다.

2.2. 이용가능열량의 원 단위

물을 열원으로 사용하면 온도가 변화한다. 수온변화를 ΔT 로 하고, 이 범위 내에서 이용할 수 있는 열량을 이용가능열량으로 정의한다. 단, 히트펌프의 경우에는 열원 측의 열량과 수요 측의 열량 양자가 존재하지만 이용가능열량은 수요 측의 열량으로 지칭한다. 그러므로, 냉난방의 경우는 수 열원으로 처리할 수 있는 냉난방부하가 이용가능 열량이 된다. 한편, 냉방 폐열은 급탕 부하의 감소에 이용할 수가 있다. 수자원 포텐셜은 냉방, 난방운전에 의해 달라

지므로 각 운전에 대한 고찰을 하였으며, 열적 포텐셜의 계산은 어떤 온도의 수자원 1m³/h에 대한 이용가능열량으로 계산하고, 이에 따른 원단위법은 다음과 같다.

2.2.1. 물을 냉방열원으로 이용하는 경우

냉방모드에서의 히트펌프에 대한 열평형 관계를 Fig.1에 표시하였다. 여기에서 냉방부하를 Q_c [kJ/h], 히트펌프 투입전력을 E [kJ/h]로 설정하면, 열평형식(1)과 (2)로부터 이용가능열량을 추정할 수 있는 식(3)을 얻을 수 있다.

$$Q_c + E = R \times c \times \Delta T \quad (1)$$

여기서, R 은 물 사용량[m³/h], ΔT 는 수온의 변화량[°C], c 는 물의 비열[kJ/m³·°C],

E 는 냉방시의 히트펌프 성적계수를 COP_c로 하면,

$$E = \frac{Q_c}{COP_c} \quad (2)$$

$$\frac{Q_c}{R} = \frac{c \times \Delta T \times COP_c}{(COP_c + 1)} \quad (3)$$

냉방의 경우와 마찬가지로 난방부하를 Q_h 로 하여 열 평형식 (4)를 얻을 수 있다. 이 식으로부터 난방시의 이용가능열량 원단위로 식(6)을 구할 수 있다.

$$Q_h - E = R \times c \times \Delta T \quad (4)$$

2.2.2. 물을 난방열원으로 이용할 경우

난방시의 히트펌프의 성적계수(Coefficient of Per

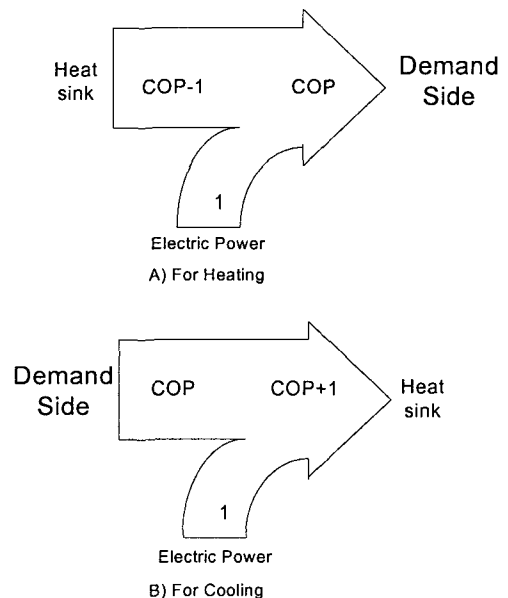


Fig. 1. Schematic diagram of heat balance for calculating the energy potential.

formance)를 COP_h로 하여 식(5)을,

$$E = \frac{Q_h}{COP_h} \quad (5)$$

(5)을 (4)에 넣어 이용가능열량 원단위로 식(6)을 구하였다.

$$\frac{Q_h}{R} = \frac{c \times \Delta T \times COP_h}{(COP_h - 1)} \quad (6)$$

2.2.3. 에너지절약 원단위법

물 1[m³/h]에 대한 에너지 절약량은 대조되는 히트펌프 시스템과의 비교에 의하여 얻을 수 있다. 대조 시스템으로 공기 열원 히트펌프를 이용하였으며, 난방의 경우에 있어서 에너지 절약량의 원단위는 수열원과 공기열원의 소요전력의 차로 구하였다. 소요전력의 차는 발전효율을 고려한 1차에너지로 환산한 식(7)로 정의하였다.

$$\frac{\Delta E_e}{R} = Q_u \times \left(\frac{1}{COP_a} - \frac{1}{COP_w} \right) \times \frac{1}{0.351} \quad (7)$$

여기서, ΔE_e 는 에너지 절약량[kJ/h], Q_u 는 이용가능열량[kJ/h], COP_a 는 공기 열원 히트펌프의 성적계수, COP_w 는 수 열원 히트펌프의 성적계수이다.

2.3. 관련인자의 영향

2.3.1. 이용온도차 및 COP 추정모델

히트펌프는 열원의 이용 시 보통 5°C의 범위로 설계되어 있다. 이것은 경험값으로 최적값이지만, 에너지 절약을 높이기 위해 온도차의 최적값은 변화될 수 있다. 따라서 히트펌프를 이용한 에너지 절약의 평가는 이용온도차가 중요한 인자가 된다. 본 연구에서는 온도차를 종래 형인 5°C이용의 경우와 열원이 가진 에너지 절약의 포텐셜을 최대한 이용하는 경우(이후, 한계이용이라고 칭한다)의 양자를 대상으로 계산하였다. 특히, 후자의 경우는 어떤 온도의 공기열원과 같은 COP값의 수열원 온도(등가온도로 칭함)까지 수열원을 활용할 수 있다. 다시 말하면 이용온도차 = 등가수온-수온이 된다. 등가수온의 결정은 저자 등이 제안한 모델⁵⁾을 이용하였다. 히트펌프의 COP에 영향 요인으로 열원의 온도, 열원의 종류를 고려할 필요가 있다. 따라서, 기기의 실제 자료를 이용, 카르노사이클을 기본으로 한 경험식을 만들어 온도차 효율 모델을 평가에 활용하였다. 또한, 난방의 경우, 온도 저하로 인한 동결의 위험이 있으므로, 열원측 출구 온도를 최저 5°C로 설정하였다. 이로 인해 열원수의 온도가 낮은 경우에는 이용 온도차 ΔT 가 제약을 받게 된다.

2.3.2. 이용시간대의 영향

열적 포텐셜은 기온, 수온, 수량 등의 영향을 받

으나 공기의 경우는 열원으로 충분히 존재한다. 앞서 서술한 바와 같이, 히트펌프에 의한 에너지 소비량의 차이는 기온과 수온으로 결정되는 것으로 물 온도는 일변동이 거의 없으나 공기온도의 경우에는 일교차가 존재한다. 이는 히트펌프를 가동하는 시간에 따라 에너지 절약 특성이 바뀌는 것을 의미한다. 가장 간단한 방법은 평균기온을 사용하는 방법이다. 평균기온을 사용함에 따른 타당성을 알아보기 위하여 변동기온을 평가한 경우와 일평균 기온으로 에너지 소비량을 비교하였다. 기온은 Fig. 2에 표시한 8월의 평균적인 일변동 자료¹²⁾를 이용하였고 수열원의 온도로 지하수 이용시의 16°C와 상수이용시의 28°C로 설정하였다. 에너지 절약 포텐셜에 대한 영향인자로 하루에 대한 기온변동과 평균기온(29.5°C) 각각에 의한 에너지 절약량을 식(7)에서 계산한 결과 수온16°C에 대한 기온변동 및 평균기온의 에너지 절약은 16.96, 16.95[Wh]이었고, 28°C에 대한 에너지 절약은 양쪽 모두 8.9[Wh]로 양자에 의한 차이가 거의 나타나지 않았다. 따라서, 히트펌프의 COP는 외기온에 대하여 비 선형이지만 평균 COP는 평균기온의 값을 사용하더라도 별차가 없음을 확인하였다. 또한, 히트펌프의 구동 시간에 의한 에너지 절약량의 차이에 대하여 전일평균기온(29.5°C), 주간 운전시(8시~18시)의 평균기온(32°C), 야간 운전시(22시~8시)의 평균기온(26.8°C)에 의한 계산을 실시하였다. 각 운전시간에 대한 에너지 절약량에서 수온이 16°C일 때 주간구동, 야간구동은 전일 평균온도의 에너지 절약량과 비교할 때 각각 +12, -13%의 차이를 보이고 있으며, 수온이 28°C인 경우 각각 +12, -23%의 차이를 보였다. 이후 계산은 에너지 절약량의 경우, 일평균 온도로 평가하고 구동시간에 따른 차이에 대하여서도 인식하여 자료를 평가할 필요가 있다. 즉, 야간 구동 시스템에서 물을 열원으로 이용하는 경우, 10-20% 정도 에너지 절약 포텐셜이 낮아지고, 주간에 구동하는 경우에는 역으로 높게 나타나는 것에 주의를 요한다.

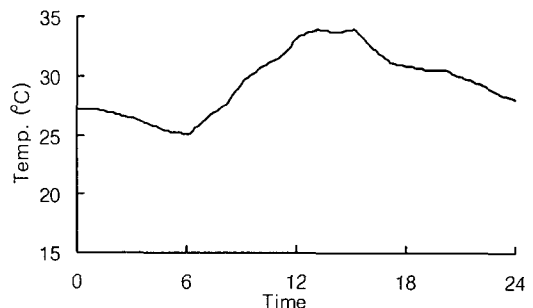


Fig. 2. Average temperature on August.

3. 모델도시의 열포텐셜 평가

실제 도시에서의 미활용에너지 활용에 따른 환경 부하 에너지 절약을 파악하기 위하여, 오사카시를 모델대상으로 하였으며, 오사카시의 자료를 이용하여 열원에 대한 평가를 실시하였다. 열적 포텐셜은 Fig. 3에 따라 추정하였다. 열 포텐셜 계산에 필요한 건물의 바닥면적 및 열수요, 물수요에 관한 원단위를 작성하여, 오사카시를 격자로 나누어 격자내의 건물용도에 따른 열수요, 물수요로 열적 포텐셜을 평가하였다.

3.1. 계산조건

3.1.1. 바닥 면적 격자자료

본 연구에서는 건물의 용도 주택, 점포, 사무실, 유흥업소, 숙박, 미술관·박물관, 학교, 대규모 병원 그 외 의료시설, 관공사로 분류하였다. 분류에 따른 누적 바닥면적은 주택 ($7.57 \times 10^7 \text{ m}^2$), 점포 ($8.66 \times 10^6 \text{ m}^2$), 사무실 ($2.66 \times 10^7 \text{ m}^2$), 유흥업소 ($7.71 \times 10^5 \text{ m}^2$), 숙박 ($2.40 \times 10^6 \text{ m}^2$), 미술관·박물관 ($1.19 \times 10^6 \text{ m}^2$), 학교 ($4.89 \times 10^6 \text{ m}^2$), 대규모 병원 ($1.48 \times 10^6 \text{ m}^2$) 그 외

의료시설 ($1.63 \times 10^6 \text{ m}^2$), 관공서 ($1.20 \times 10^6 \text{ m}^2$)이었다. 오사카시 계획국에서 작성한 각 용도에 대한 바닥 면적 조사결과를 활용하여 각각의 격자에 대한 각각의 바닥면적으로 분류하여 격자 자료로 활용하였다. 한편, 격자는 국토 조사법 및 측량법을 기준으로 한 19좌표계로 격자의 넓이는 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ 의 정방형이다.

3.1.2. 열 수요량, 수 사용량의 원 단위

열 수요량, 수 사용량의 원 단위에 대하여서는 건물용도의 분류에 따른 尾島¹³⁾의 원 단위를 참조하여 작성하였다. 이에 따라 작성된 열 부하 및 수 사용량에 대한 원 단위를 Table 1~3에 제시하였다.

특히, 열 평가에서 열원으로 활용되는 수 사용량의 타당성을 평가하기 위하여, 오사카시의 연간 상수량 자료와 대상지역의 전체 격자에 대한 합계를 나타냈다. 원단위법으로 추정된 연간 상수량은 $4.41 \times 10^8 \text{ [m}^3/\text{년]}$ 이었고 문헌¹⁴⁾에 의한 상수량은 $4.49 \times 10^8 \text{ [m}^3/\text{년]}$ 으로 계산치와 통계치의 차는 1.9% 정도로 수 사용의 원단위법에 의한 추정의 타당성이 확인되었다.

3.1.3. 그 외 조건

상수의 온도차에너지는 히트펌프의 열원으로 이용하여, 5월부터 10월은 냉방이용 및 11월부터 4월은 난방이용을 실시한 것으로 간주하였다. 그리고, 이용온도차는 5°C 이용과 한계수온까지 변화시키는 경우(한계이용)로 설정하여 계산하였다. 계산에 필요한 기온, 습구 온도는 오사카시 기상 자료의 평균치를 이용하였다. 상수온은 오사카시의 정수장 출구 온도를 이용하였다.

3.2. 열적 포텐셜의 평가방법

3.2.1. 격자 내에서의 건물용도에 따른 이용가능열량

격자 내에서 각각의 건물에 대한 이용가능열량은 각 건물의 물 수요량에 의하여 결정된다. 즉, 물수요 원단위와 이용가능열량 원단위로부터 「건물 바닥 면적 당 이용가능열량 원단위」가 결정된다. 오사카시의 기온·상수온도조건을 이용하여 주택과 사무실 용도에 대하여 계산하였다. Table 4에 주택 및 사무실에 대하여 2.3절의 각각 이용온도차 5°C 와 한계온도차 이용의 결과를 나타냈다. Table 1, 2에 의한 열수요 원단위와 비교하면 일반적으로 열수요가 많음을 알 수 있고, 대상 열원만으로는 전체를 공급하기에는 부족함을 확인 할 수 있다. 이는 상수의 경우 열원으로 이용하기에는 제한적인 것을 의미한다. 이를 구체적으로 이용할 경우에는 다른 열원과 겸용시스템을 구축할 필요가 있음을 의미한다.

3.2.2. 격자 내에서의 공급가능열량

이용가능열량은 수자원을 전부 활용한 경우에 대

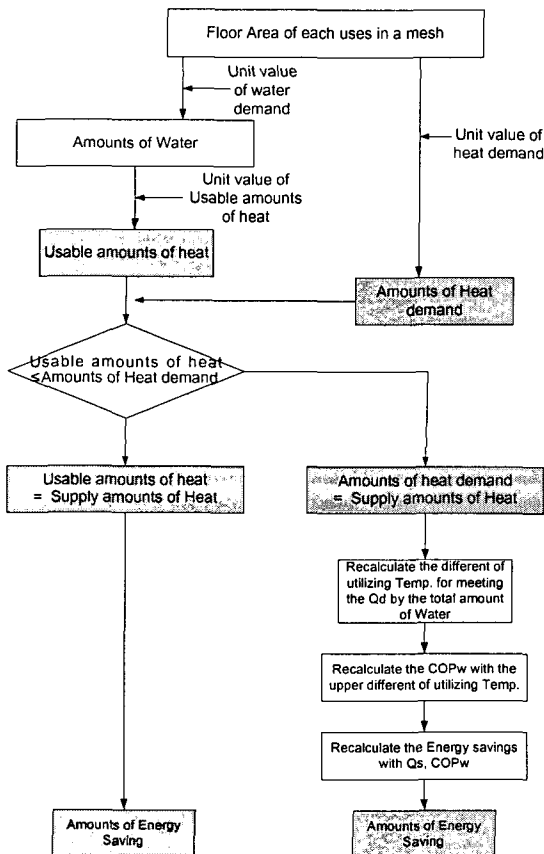


Fig. 3. A flowchart on energy potential of inside unused energy.

Table 1. Unit of Heat demand for cooling [MJ/m² · month]

Using	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Decm.	Sum
Housing	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	18.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3
Store	1.7	1.7	4.2	18.0	27.2	41.9	67.0	73.3	67.8	32.7	18.4	5.4	359.2
Office	2.1	2.1	2.5	5.0	22.2	45.6	62.8	67.8	54.8	25.5	5.4	2.9	298.9
Entertainment	1.7	1.7	2.1	7.1	18.4	45.6	69.1	69.9	56.9	15.9	2.9	2.1	293.4
Hotel	0.0	0.0	0.0	2.1	10.5	28.5	69.5	82.9	61.1	15.5	1.3	0.0	271.3
Museum, gallery	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.7	41.0	65.3	39.3	0.0	0.0	0.0	180.4
School	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	25.5	29.7	6.3	20.5	0.0	0.0	0.0	92.5
Hospital	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	85.8	146.9	154.5	107.2	14.7	0.0	0.0	516.1
Clinic	2.1	2.1	2.5	5.0	22.2	45.6	62.8	67.8	54.8	25.5	5.4	2.9	298.9
Office	0.8	0.8	0.8	0.8	3.8	34.7	66.6	68.2	46.9	5.9	0.8	0.8	231.1

Table 2. Unit of Heat demand for Heating [MJ/m² · month]

Using	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Decm.	Sum
Housing	22.6	23.4	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	87.1
Store	20.9	18.8	11.3	5.9	1.7	1.7	1.	1.3	1.3	1.7	1.7	8.8	76.2
Office	51.9	51.1	41.0	15.9	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	10.5	36.4	208.9
Entertainment	50.2	50.7	28.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	39.3	180.0
Hotel	129.3	94.2	79.5	43.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.2	114.3	495.6
Museum, gallery	90.4	100.9	67.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	83.7	360.0
School	62.8	52.7	43.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	46.9	239.0
Hospital	74.9	63.2	53.2	20.9	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	33.9	60.3	335.3
Clinic	51.9	51.1	41.0	15.9	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	10.5	36.4	208.9
Office	52.3	52.3	44.4	13.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	13.4	35.2	214.3

Table 3. Unit of Water demand for supplying water [m³/m² · month]

Using	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Decm.	Sum
Housing	0.323	0.323	0.328	0.328	0.328	0.328	0.342	0.342	0.333	0.333	0.328	0.328	3.964
Store	0.212	0.213	0.243	0.256	0.269	0.288	0.317	0.322	0.309	0.287	0.263	0.274	3.253
Office	0.154	0.150	0.155	0.161	0.199	0.178	0.207	0.195	0.186	0.172	0.161	0.156	2.074
Entertainment	0.305	0.267	0.297	0.312	0.327	0.347	0.344	0.355	0.332	0.323	0.295	0.300	3.804
Hotel	0.741	0.748	0.742	0.749	0.688	0.734	0.891	1.016	1.016	0.923	0.877	0.816	9.941
Museum, gallery	0.100	0.107	0.107	0.110	0.110	0.110	0.123	0.110	0.160	0.157	0.137	0.107	1.438
School	0.215	0.163	0.177	0.202	0.455	0.396	0.231	0.499	0.374	0.381	0.270	0.202	3.565
Hospital	0.291	0.304	0.313	0.340	0.348	0.372	0.419	0.413	0.371	0.350	0.333	0.328	4.182
Clinic	0.154	0.150	0.155	0.161	0.199	0.178	0.207	0.195	0.186	0.172	0.161	0.156	2.074
Office	0.120	0.121	0.125	0.121	0.124	0.133	0.147	0.152	0.142	0.132	0.123	0.117	1.557

을할 수 있는 열 부하이다. 하지만 실제 열수요보다 이용가능열량이 많을 경우, 이용가능열량이 남는 경우가 발생한다. 이러한 경우 각 지역의 에너지 절약량을 평가할 때, 반드시 열 부하를 고려하여야 한다는 것을 의미한다⁵⁾. 여기서는 실제 열부하에 이용된 열량을 공급가능열량으로 정의하였다. 이는 한 격자에서 이용가능열량의 합계를 같은 격자에서의 열수요량의 합계와 비교하여 작은 쪽을 공급가능열량으로 구하는 방법으로 선행 연구^{5,6)}에서의 미활용

에너지 평가에 이용한 방법이다. 따라서, 격자 별로 공급가능열량을 구하여 이용가능열량과 비교하여 보면 이 값이 매우 감소한 것을 알 수 있다. 이는 미활용 열원과 열 수요간의 지리적 불일치에 의한 것으로 판단된다. 그러나, 본 연구에서와 같이 지리적 불일치가 없는 경우에는 기존의 평가방법과는 달리 동일 격자에서 건물용도에 따라 열 수요와 이용 가능량을 비교하여 작은 쪽을 공급가능열량으로 하여 누적하는 방법으로 계산하였다.

Table 4. Unit value of usable amount of heat [MJ/m²]

	Using to 5 degree		Using to limited	
	Housing	Office	Housing	Office
Jan.	6.05	2.88	6.05	2.9
Feb.	5.35	2.48	5.35	2.5
Mar.	8.29	3.92	8.29	3.9
April	8.8	4.32	16.56	8.1
May	5.73	3.48	17.82	10.8
Jun.	5.62	3.05	18.43	10
July	5.79	3.5	21.04	12.7
Aug.	5.73	3.27	20.49	11.7
Sep.	5.62	3.14	16.23	9.1
Oct.	5.78	2.98	15.06	7.8
Nov.	8.76	4.3	18.29	9
Dec.	8.97	4.26	10.6	5
sum	45.8	41.6	90.2	93.5

3.2.3. 에너지 절약량

물을 열원으로 이용할 때, 에너지 절약량은 식(7)의 에너지 절약 원단위를 이용하여 계산하였다. 그러나, 공급가능열량에 대한 에너지 절약량은 공급가능열량과 이용가능열량의 상대적 관계에 좌우됨으로 단순히 원단위를 이용하여 계산할 수 없다. 예를 들면, 공급가능열량이 이용가능열량의 경우와 같은 경우에는 원단위를 이용한 계산이 가능하다. 그러나 공급가능열량보다 이용가능열량이 큰 경우는 열원으로 이용되는 수자원이 남을 경우이므로 여기서는 수자원을 열원으로 활용하는 방법에 따라 차이가 발생한다. 예를 들면, 5°C이용의 경우, 수량의 일부를 이용하여 5°C 조건을 따르면 원 단위를 이용한 계산이 가능하다. 그러나, 이용온도차를 바꾸어 전수량을 열원으로 이용한다면, 히트펌프의 성

능이 향상되어, 보다 많은 에너지 절약효과를 얻을 수 있다. 공급가능열량에 대하여 에너지 절약량을 계산할 때는, 후자가 합리적이므로 이 경우에는 Fig. 3에 따라 원단위를 사용하지 않고, 수온의 상승을 계산하여 수온 상승에 대한 히트펌프의 COP를 계산하고, 에너지 절약량을 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 열적 포텐셜의 원단위

모델도시에서 물 1 [m³/h]을 열원으로 활용했을 때, 식(3, 6, 7)로부터 계산된 열적 포텐셜의 원 단위 값을, 한계이용과 5°C이용으로 나누어 Table 5, 6에 나타냈다. 이는 이용가능열량 원 단위이고 그것이 전부 활용되었을 때의 에너지 절약 원 단위를 구하였다.

4.2. 전체의 열수요

모델도시 전체의 열 수요량의 합계 결과를 Table 7에 나타냈다. 총열수요량에 대한 주택, 사무소에서 열 수요량의 비율이 높게 나타났다. 피크 치를 보면 냉열 (7월)에서는 주택이 31.4%, 사무실 37.6%를 나타냈다. 온열에서는 주택이 40%, 사무실이 32.3%를 나타냈다. 이는 상수를 열원으로 이용할 경우, 매우 효과적임을 시사하고 있다.

4.3. 모델도시 전체의 이용가능량 및 공급가능량

이용가능열량을 Table 8에 나타냈다. 상수이용의 경우, 한계 이용시 7월에 2,395 [TJ]이고, 총열수요량의 53.9%에 상당한다. 1월에는 644 [TJ]로 총열수요량의 15%에 해당된다. 단, 한계이용은 공기열원보다 유리한 범위의 온도차를 최대한 이용함으로써 이용가능열량의 최대 값으로 판단된다. 현실적으로 상수의 승온에는 여러 가지의 제약이 있으나, 여기서는 열역학적인 한계로 해석할 수 있다. 5°C이용의 경우, 열원온도로 5°C로 이용한 경우, 이용가능열량

Table 5. Unit values of each potential about using unused energy to limited utilizing

	Average Temp. of Air[°C]	Average Temp. of Water[°C]	Limited Temp. [°C]	Utilizing Temp. [°C]	Usable amounts of heat[MJ/m ²]	Amounts of Energy Savings [kWh/m ²]
Jan.	5.5	8.4	5	3.4	18.73	0.3
Feb.	5.8	8	5	3	16.55	0.25
Mar.	8.6	9.6	5	4.6	25.29	0.32
April	14.6	14.3	5	9.3	50.49	0.38
May	19.2	18.7	34.63	15.93	54.34	0.44
Jun.	23	22.7	39.5	16.8	56.18	0.49
July	27	25.9	44.62	18.72	61.53	0.63
Aug.	28.2	27.8	46.16	18.36	59.9	0.6
Sep.	24.2	26.3	41.03	14.73	48.74	0.35
Oct.	18.3	20.2	33.48	13.28	45.23	0.28
Nov.	12.9	15.3	5	10.3	55.76	0.57
Dec.	7.9	10.9	5	5.9	32.31	0.46

미활용에너지의 열 포텐셜 평가 수법에 관한 연구

Table 6. Unit values of each potential about using unused energy for utilizing 5℃

	Average Temp. of Air[℃]	Average Temp. of Water[℃]	Limited Temp. [℃]	Utilizing Temp. [℃]	Usable amounts of heat[MJ/m ²]	amounts of energy savings[kWh/m ²]
Jan.	5.5	8.4	5	3.4	18.73	0.3
Feb.	5.8	8	5	3	16.55	0.25
Mar.	8.6	9.6	5	4.6	25.29	0.32
April	14.6	14.3	5	5	26.84	0.27
May	19.2	18.7	5	5	17.47	0.28
Jun.	23	22.7	5	5	17.41	0.3
July	27	25.9	5	5	16.93	0.35
Aug.	28.2	27.8	5	5	16.76	0.33
Sep.	24.2	26.3	5	5	16.89	0.25
Oct.	18.3	20.2	5	5	17.35	0.21
Nov.	12.9	15.3	5	5	26.71	0.35
Dec.	7.9	10.9	5	5	27.34	0.4

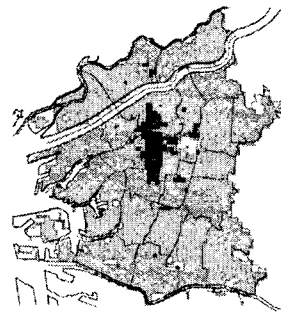
Table 7. Total Heat demands of Model City

	Cooling season [TJ/month]			Heating season [TJ/month]		
	Housing	Office	Sum of Uses	Housing	Office	sum of Uses
Jan.	0	56	75.8	1711.7	1382.8	4283.7
Feb.	0	56	75.8	1772.3	1361.8	4165.5
Mar.	0	66.6	109	916.4	1092.4	2797.5
April	0	133.2	307.4	0	423.6	743.9
May	0	591.5	963.1	0	34.6	72.1
Jun.	825.6	1214.9	2903.8	0	10.7	25.9
July	1393.6	1673.2	4444.4	0	0	11.3
Aug.	757.4	1806.4	3963.1	0	0	11.3
Sep.	0	1460.1	2674.6	0	0	11.3
Oct.	0	679.4	1075.7	0	10.7	51.8
Nov.	0	143.9	316.9	0	279.8	557
Dec.	0	77.3	130.6	2188.9	969.8	4049.7
sum	2976.6	7958.4	17040.2	6589.3	5565.8	16780.9

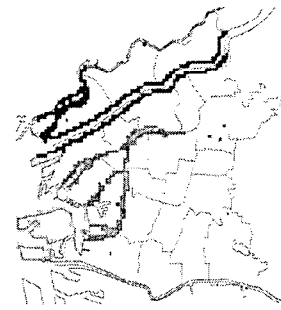
량의 15%가 되었다. 5℃이용의 경우, 7월에는 659 [TJ]로 총열수요량의 14.8%로 나타났다.

은 한계이용에 대하여 냉방기(5-10월)의 평균 31.9%, 난방기(11-4월)의 평균 80.9%로 나타났다. 난방기 값이 높게 나타나는 것은 동결방지를 위하여 이용온도차가 제한되어 한계이용과 5℃이용에서 ΔT의 차가 거의 없는 것으로 판단된다. 또한, Fig. 4에서 제시한 것과 같이 본 연구에서 이용한 열원의 경우, 이용 가능량 분포는 열수요 분포와 위치적으로 거의 비슷한 분포를 보인다. 그러나, 다른 미활용 열원과 달리 수요지와 열원간 지리적으로 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 도시 내 존재하는 타 열원과 다른 특징을 잘 나타내고 있다.

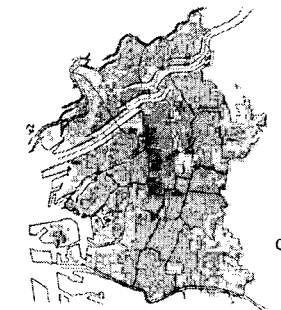
공급가능열량의 경우, 한계이용에서는 7월 2,195 [TJ]로 이는 열수요량의 49.4%에 해당한다. 1월에는 이용가능량이 열수요량보다 부족하므로, 이용 가능량이 바로 공급 가능량이 되어, 644 [TJ]로 열 수요



a) Heat demand



b) Usable amounts of heat of other unused energy



c) Usable amounts of a heat by this heat source

Fig. 4. Compare heat demand to usable amounts of heat on distributions of a model city.

Table 8. Usable and supply amounts of heat by using city water as unused energy

	Usable amounts of heat[TJ/month]						Supply amounts of heat[TJ/month]					
	Cooling season			Heating season			Cooling season			Heating season		
	Using to limited(a)	Using 5(b)	b/a	Using to limited(a)	Using 5°C(b)	b/a	Using to limited(a)	Using 5°C(b)	b/a	Using to limited(a)	Using 5°C(b)	b/a
Jan.	1084.8	629.3	58	643.7	643.7	100.0	75.8	75.8	100.0	643.7	643.7	100.0
Feb.	1170.7	624.5	53.3	563.3	563.3	100.0	75.8	75.8	100.0	563.3	563.3	100.0
Mar.	1434.3	636.1	44.4	882.7	882.7	100.0	109	109	100.0	882.7	882.7	100.0
April	1781.8	629.9	35.4	1786.3	949.3	53.1	263.2	130.1	49.4	454.8	266.8	58.7
May	2047.1	658.2	32.2	2615.5	988.9	37.8	534.8	218.2	40.8	72.1	65.2	90.4
Jun.	2086	636.4	30.5	2439.9	956.1	39.2	1485.4	636.4	42.8	25.9	25.9	100.0
July	2395	658.9	27.5	2214.4	986	44.5	2194.8	658.9	30.0	11.3	11.3	100.0
Aug.	2409.9	674.4	28	2372.9	1010.7	42.6	1500.3	664.3	44.3	11.3	11.3	100.0
Sep.	1878.5	650.9	34.6	2940.2	947.7	32.2	649.3	225	34.7	11.3	11.3	100.0
Oct.	1705.9	654.3	38.4	3064.9	982.2	32.0	407.6	180	44.2	51.8	42.9	82.8
Nov.	1422.5	639.6	45	2012.3	963.9	47.9	247.3	126.6	51.2	473	254.2	53.7
Dec.	1178.8	642.8	54.5	1147.6	970.9	84.6	130.6	124.6	95.4	1147.1	970.9	84.6
sum	20595.2	7735.4	37.6	22683.7	10872.5	47.9	7673.8	3224.5	42.0	4348.3	3749.5	86.2

4.4. 모델도시 전체의 에너지 절약량

수이용에 대한 에너지 절약량의 규모를 Table 9에 나타냈다. 상수이용의 경우, 한계이용에서 연간 131.3 [GWh], 세부적으로 냉방기(5-10월)에는 75.8 [GWh], 난방기(11-4월)에 55.5 [GWh] 이며, 5°C이용에서는 연간 97.8 [GWh], 세부적으로 냉방기에는 47 [GWh], 난방기에 50.8 [GWh] 로 계산되었다. 에너지 절약량을 이용한 환경부하의 평가에서 지구 온난화 물질 중에서 CO₂에 대한 평가를 실시하였다. 현재, 우리나라 발전상황에서 전력생산은 화력 발전에 대한 오염물질의 원단위를 이용하였으며, kWh당 CO₂의 배출량을 0.223 [kg-C]으로 하였다.¹⁵⁾ 지구 온난화 오염물질의 환경부하에 대한 평가를 실시한 결과, 한계 이용시 연간 29,280 [T-C]의 환경부하를 저감할 수 있는 것으로 계산되었다.

4.5. 다른 미활용 열원과의 비교

본 연구의 열원과 타 열원과의 정량적인 비교를 위하여 일부 선행 연구자⁵⁾의 연구로부터 추정된 하천수, 해수의 자연 에너지, 쓰레기 소각장, 하수처리장 처리수, 화력발전소 온배수, 변전소 폐열과 같이 도시 대사계 열원, 그 외 도시내부에서 발생하는 지하철 폐열, 냉동창고 폐열에 대하여, 11월-4월의 난방기를 기준으로 비교하였다. 이용가능열량의 경우, 본 열원은 쓰레기 소각장과 비슷한 수준의 이용가능을 가지고 있고, 에너지 절약량의 경우, 직접 열원기기의 구동이 가능한 소각장에서 높은 값을 나타냈다. 또한, 모델도시의 민생용 전력, 가스 소비량의 1차 환산 에너지 124,500 TJ/년 에 대하여 미활

Table 9. Energy savings

	Cooling season			Heating season		
	Using to limited(a)	Using 5°C(b)	b/a	Using to limited(a)	Using 5°C(b)	b/a
Jan.	0.5	0.5	100.0	10.4	10.4	100.0
Feb.	0.6	0.6	100.0	8.7	8.7	100.0
Mar.	1.1	1.1	100.0	11.2	11.2	100.0
April	2.5	1.8	72.0	3.6	2.7	75.0
May	5	3.6	72.0	0.7	0.7	100.0
Jun.	17.6	11.2	63.6	0.3	0.3	100.0
July	25	13.5	54.0	0.1	0.1	100.0
Aug.	20.7	13.3	64.3	0.1	0.1	100.0
Sep.	4.7	3.3	70.2	0.1	0.1	100.0
Oct.	2.8	2.2	78.6	0.6	0.6	100.0
Nov.	1.4	1.2	85.7	5.1	3.4	66.7
Dec.	0.8	0.8	100.0	16.5	14.4	87.3
sum	82.7	53	64.1	57.5	52.7	91.7

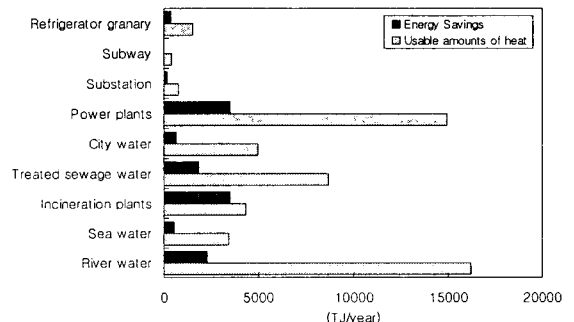


Fig. 5. Compare with other unused energy source on savings and usable amounts of heat.

용 에너지 전체 열원에 대한 난방기 에너지 절약량은 12,971 TJ/년으로 약 10.4%에 상당하는 값을 나타냈다.

6. 결 론

에너지 활용에 따른 도시내의 환경부하의 감소와 에너지의 합리적인 활용을 위하여, 도시 내에 존재하면서, 기술적, 지리적 문제로 잘 활용되지 않는 미활용 에너지 가운데 지리적 불일치를 해결할 수 있는 열원으로 상수를 이용하여, 상수의 열적 포텐셜을 파악하고 열원으로 가치를 평가하였다.

기존의 하천수, 해수와 같은 자연에너지에 대한 활용가능성의 평가방법과는 달리 본 연구에서는 열적 포텐셜 평가를 위한 원단위 방법을 제안하였다. 본 연구방법의 특징은 각 건물 용도에 따라 열원으로 이용 가능한 수사용량이 다르다는 점을 감안하여, 공급가능열량을 계산할 때 각 용도에 따라 계산된 값을 누적하였다. 또한, 이용가능 열량이 클 때는 열원수가 남는 경우가 발생한다. 이때, 열원 에너지 절약 포텐셜을 높일 수 있도록 한계이용법을 제안하였다. 원단위법을 모델 도시에 적용한 평가에서 상수가 가진 에너지 열량은 종래 연구된 미활용 열원과 비교하여 새로운 열원으로서의 가치가 있었고, 열원과 수요지 간의 위치적으로 거의 비슷한 분포를 보이고 있어, 지리적 불일치를 극복할 수 있는 열원으로 평가되었다. 이용가능열량은 쓰레기 소각장과 비슷한 수준으로 에너지 절약량은 5°C이용시 연간 약 100 GWh, 한계 이용시 연간 131 GWh로 추정되었으며, 연간 29,280 [t-c]의 CO₂저감효과가 있을 것으로 추정되었다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1) 박병식, 1992, 미활용 에너지의 종류와 특질, 부존량과 에너지 효과, 에너지·자원, 13(2), 23-30.

2) 윤정인, 2000, 낙동강 하천수 이용 영농화훼단지 난방시스템 개발, 부산광역시.
 3) 센츨리-리서치센터, 1985, 低溫廢熱資源의總合的有効利用に關する研究、總合研究開發機構.
 4) 佐土原地, 1998, 日本全國の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に關する研究、日本建築學會計畫論文集.
 5) Shimoda, Y., M. Mizuno, S. Kametani, T. Momose and T. Kanaji, 1996, Evaluation method of energy saving availability by utilizing urban unused thermal energy-part1, Transactions of SHASEJ, 61, 67-77.
 6) Shimoda, Y., M. Mizuno, S. Kametani, T. Momose and T. Kanaji, 1997, Evaluation method of energy saving availability by utilizing urban unused thermal energy-part2, transactions of SHASEJ, 67, 1-10.
 7) 박준택, 2002, 온도차에너지 및 폐열이용기술 개발, 대한설비공학회, 35(5), 8.
 8) 박준택, 2002, 미활용에너지의 이용과 과제, 대한설비공학회, 35(5), 8-13.
 9) 박준택, 이영수, 박성룡, 장기창, 이상남, 라호상, 2002, 미활용에너지 이용현황, 대한설비공학회 '02 하계학술발표대회 논문집, I, 396-401.
 10) 방광현, 조성화, 이경중, 박준택, 1998, 해수 열에너지 부존량에 관한 연구, 대한설비공학회 '98 하계학술발표대회 논문집, II, 861-866.
 11) 허재영, 박준택, 김산, 1998, 하천수 열에너지 부존량에 관한 연구, 대한설비공학회 '98 하계학술발표대회 논문집, II, 872-877.
 12) 日本國立天文臺, 1998, 理科年表.
 13) 尾島俊雄, 1995, 建築の光熱水原單位, 早稻田大學出版部.
 14) 日本水道協會, 1998, 水道統計施設・業務編.
 15) 空氣調和・衛生工學會地球環境に關する研究會, 1995, シンポジウム地球環境時代における建築設備の課題, 空氣調和・衛生工學會, 60-106.