

## 온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구

박준택 · 장기창

한국에너지기술연구원 미활용에너지연구팀

## An Investigation on Quantity of Unused Energy Using Temperature Difference Energy as Heat Source and Its Availability

Jun-Taek Park and Ki-Chang Chang

Unutilized Energy Research Team, KIER

### 요 약

급격히 증가하는 에너지 수요에 비해, 현재 주에너지원인 화석에너지나 원자력은 지구 온난화 및 핵폐기물 등의 환경오염 문제로 인해 그 공급을 계속적으로 증가시키는 데에는 많은 제약을 받고 있다. 이러한 에너지 공급의 한계를 극복하기 위해서는 풍부한 자연에너지를 활용할 필요가 있는데, 최근의 열펌프 기술의 발전과 더불어 하천수·해수·하수처리수 등의 온도차에너지에 대한 미활용에너지의 활용기술의 기대가 크게 증가되고 있다. 따라서 미활용에너지의 활용을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 열원별·지역별 미활용에너지의 부존량 및 이용가능량을 조사·산정하고, 미활용에너지의 이용가능성에 대하여 평가하였다.

**Abstract** — While the demand for energy has shown a sharp increase recently, the supply seems to be limited by the fact that the conventional fossil fuel energy or nuclear energy has its own environmental problems such as, for example, global warming or nuclear waste disposal. To overcome such limited supply of energy, the utilization of natural thermal energy such as river water and sea water as well as treated sewage can be a substantial supplement. The potential use of the unused energy has become more and more feasible these days as the heat pump technology has been advanced. In the present study, the unused energy reserves are estimated on regional and monthly basis for each resource based on the method developed here in order to establish the base data for its utilization. The potential use of the unused energy is also discussed.

### 1. 서 론

미활용에너지(unused energy 또는 unutilized energy)란 도시지역내에서 생활·업무·생산활동의 결과로 발생된 것으로서 유효하게 회수되지 않고 환경중으로 방출되고 있는 각종 열에너지와 자연에 풍부하게 존재하는 것으로서 그 활용이 도시환경에 생태학적으로 영향을 주지 않을 것으로 생각되는 자연에너지를 말하는데, 일반적으로는 자연에너지 중 하천수, 해수, 지하수 등으로부터 얻을 수 있는 온도차에너지와 재활용에너지라 할 수 있는 폐기물소각열, 하수열, 공장 등으로부터의 배열 등을 의미한다.

우리나라의 에너지 소비량은 지난 1985년 이후 연평

균 10.3%의 높은 증가추세를 지속하고 있으며, 에너지 해외의존도도 증가하여 1996년에 97%를 상회하였다<sup>1)</sup>. 이렇게 급격히 증가하는 에너지 수요에 비해, 현재 주에너지원인 화석에너지나 원자력은 지구 온난화 및 핵폐기물 등의 환경오염 문제로 인해 그 공급을 계속적으로 증가시키는 데에는 많은 제약을 받고 있다. 특히 최근의 기후변화협약과 같은 국제적 지구환경보호운동에 능동적으로 대처하기 위해서는 에너지절약, 대체 및 청정에너지의 개발이 절실히 요망된다.

이러한 에너지 공급의 한계를 극복하기 위해서는 에너지 소비효율을 개선하는 문제뿐만 아니라 현재 활용되지 않고 있는 공장, 소각로 등에서의 배열과 하천수, 해수 및 하수에 있는 풍부한 자연 열에너지를 활용할 필

요가 있다. 자연 열에너지는 일반적으로 저온 열원으로 서, 특히 급속히 증가하고 있는 냉난방용 열수요에 대 한 대안으로서 열펌프 기술의 발달과 더불어 그 활용가 능성이 크게 증가되고 있다.

이러한 미활용에너지의 이용을 추진하기 위해서는 미 활용에너지의 부존량과 그 활용가능성 등에 대한 기초 적인 조사가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 미 활용에너지 중에서 하천수, 해수 및 하수처리수가 갖는 열에너지를 활용하기 위한 기초자료를 확보하기 위하여 지역별 미활용에너지의 부존열량 및 이용가능열량을 조 사·산정하고, 그 이용가능성에 대해 평가하였다.

## 2. 미활용에너지의 이용상 특성

### 2-1. 하천수/해수

하천 또는 해양에너지의 이용은 일반적으로 온도차에 너지로 일컬어지는 열에너지 외에 해양의 파력에너지, 조 력에너지, 해류에너지, 염분농도차 발전 등을 들 수 있 으며, 이들은 현재 열에너지를 이용하는 열펌프 기술 외 에는 대부분 기술개발 연구단계에 있다고 볼 수 있다.<sup>[2][3]</sup>

열에너지의 활용방법은 열펌프로 하천수/해수 열에너 지를 이용하는 것이다. 열펌프는 증기압축식 및 흡수식 이 있으며, 하나의 시스템으로 겨울철 난방시에는 응축 기의 배열을, 여름철 냉방시에는 증발기의 냉열을 이용하 여 냉난방할 수 있는 열원기기이다. 하천수/해수열원 열 펌프는 가정용이나 상업용 건물의 공조시스템 및 지역 냉난방시스템에서 동절기에는 하천수/해수를 열원으로, 하절기에는 냉각수로 이용한다. 여름철 수온은 주위의 기 온보다 낮고, 겨울철에는 높다. 이러한 하천수/해수의 특 성 때문에 하천수/해수를 이용한 열펌프의 성적계수(COP) 는 공냉식 열펌프보다 높다. 또한 물의 열전달계수가 공 기에서의 열전달계수보다 높아 수냉식 냉동시스템이 공 냉식 냉동시스템보다 실제로 성적계수가 높다.

한편, 하천수/해수 열에너지는 그 부존량이 막대하다 고 볼 수 있으나, 열오염(thermal pollution)과 같은 환 경적인 요인에 의해 그 사용량이 제한될 수 있다.

### 2-2. 하수처리수

하수처리수의 열원으로서의 특징으로는 첫째, 년간을 통하여 온도 변동폭이 적고 안정된 열원이라는 점이다. 하수처리수의 온도는 년간을 통하여 변화가 작아서 기 온에 비하여 하절기에는 평균적으로 7°C 정도 낮고, 동 절기에는 10°C 정도 높은 특성을 갖고 있으므로 고효율 로 열펌프를 운전할 수 있다. 둘째, 열수요가 많은 도시 부에 존재하는 열원이라는 점을 들 수 있다. 하수처리 수가 갖는 열량은 도시폐열 전체의 약 40%로 알려지고

있으며, 인구밀도가 높은 도시부에 대량으로 존재하므로 대규모의 열수요에 대응하기가 수월하기 때문에 도시지 역내에서 직접 이용가능한 에너지원이다.

## 3. 미활용에너지의 부존량 산출

### 3-1. 미활용에너지 부존량의 정의

미활용에너지를 이용하기 위해서는 이용가능 열량의 부존량을 파악해야 하는데, 미활용에너지의 부존열량에 대한 정의에 대해서는 아직 명확한 해석이 없다. 특히 쓰레기 소각열과 같이 고온의 발열(화학반응 에너지)을 기준으로 할 경우는 정량화가 용이하지만 하천수나 해 수와 같은 자연에너지, 즉 온도차에너지(물리적인 에너 지)는 Fig. 1에 나타내는 바와 같이 그 이용 방법에 따 라 다르게 정의될 수 있다.

첫째, 하천수/해수 열에너지를 냉난방 목적으로 열교 환기를 통해 직접 이용할 경우 열원(냉열 또는 온열) 온 도와 기온과의 차이에 해당하는 열량을 부존량으로 정 의할 수 있다. 그러나 이 경우 복유럽과 같이 하절기에 매우 낮은 온도의 냉열로 직접 냉방할 수 있는 조건이 아니면 그 이용이 효과적이지 않다.

둘째로, 열펌프를 이용하여 열을 공급할 경우 이 시 스템에서 채택하고 있는 열교환기의 입출구 온도차가 실 제의 이용 열량이 된다. 열교환기의 일반적인 설계 입 출구 온도차가 3~5°C 정도이므로 이 온도차 만큼의 에 너지를 부존량으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 온도차 로 자연에너지를 이용할 경우, 이로 인한 환경적 영향 을 고려해야 한다. 즉, 냉온수 배출로 하천이나 해양 생 태계에 열 변동을 줄 경우 생태계 변화를 초래할 가능 성이 있다.

세번째의 부존량 정의 방법은 환경적인 인자를 고려

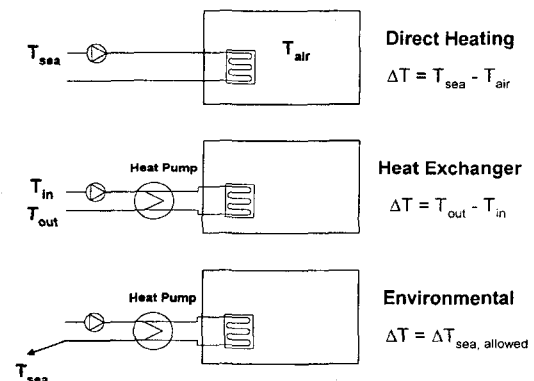


Fig. 1. The basic concepts for quantity of temperature difference energy.

한 것이다. 그러나 이러한 환경적 영향은 실제로 각 지역의 지리적 특성 등과 같은 많은 인자가 복합적으로 관 계되기 때문에 평가하기가 용이하지 않다. 예를 들어 연안에서 배출된 온배수는 인근 해수와 혼합되면서 수온의 변화를 최소화할 수 있는데, 이 혼합과정은 연안의 지리적 구조 및 해류 등에 의해 영향을 받으며, 특히 온도가 서로 다른 두 유체가 만나서 밀도류를 형성할 가능성도 있다. 이러한 해양의 온배수 영향의 정확한 평가는 매우 많은 정보와 복잡한 모형을 요구한다.

따라서, 본 연구에서는 포괄적인 개념으로 각 열원별로 부존량 산출의 기준을 설정하였고, 이것을 미활용에너지 부존량에 관한 비교기준으로 삼고자 한다. 일본에서는 미활용에너지의 부존량을 다음과 같은 식에 의해 계산하고 있다.<sup>14)15)16)17)18)</sup>

$$E = \Delta t \cdot Q \cdot C \quad (1)$$

여기서, E는 부존량(Mcal/mon),  $\Delta t$ 는 이용온도차( $^{\circ}\text{C}$ ), Q는 유량( $\text{m}^3/\text{mon}$ ), C는 비열( $\text{Mcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )이다.

### 3.2. 하천수 열에너지의 부존량조사

전국의 직할하천중에서 자료를 얻을 수 있는 50개 하천을 대상으로 조사하였다. 식(1)의 유량 Q로서는 하천의 월평균유량을 사용하고, 온도차는 ① 이용온도차가  $5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하다고 하는 경우와 ② 실제의 온도차(수온-기온 및 기온-수온)를 사용하는 경우의 두 경우에 대해 검토하였다. 비열 C는  $1000 \text{Mcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 이다.

하천유량은 계절별 변동이 크기 때문에 월평균유량을 사용한다. 실측 일수위자료로부터 유출량을 산정하기 위해서는 수위-유량곡선을 사용하는데, 이 방법에서는 일수위자료의 신뢰성, 결측치 및 저수위의 유량측정 성과의 부족으로 인한 수위-유량곡선의 불확실성 때문에 산정된 유출량에는 상당한 오차가 수반될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 하천에서 매년 관측되고 있는 지점 중에서 관측기간이 길어서 신뢰도가 높을 것으로 예상되는 지점을 선별하고, 그 지점에서의 유량자료를 이용하여 비유량법으로 그 수계의 다른 지점의 유량을 유추하였다. 사용된 비유량은 Table 1에 나타내었다.

수온은 특별한 목적으로 설치된 지점을 제외하고는 상시 관측망이 거의 전무하며, 수질조사를 목적으로 환경부에서 고정점에 대해 수온을 측정하고 있으나 이것은 일평균 수온을 측정하는 것이 아니라 대부분 한낮에 측정이 이루어지고 있어서 일 최고수온에 가까운 값을 측정하는 결과로 된다. 따라서 정밀한 미활용에너지 부존량의 계산을 위해서는 활용가능성이 큰 지점에 수온의 상시관측망을 설치·운용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

기온으로서의 월평균기온을 이용하는 것이 타당한 것

Table 1. Specific flow rate in main rivers.

수 계 명	유역면적( $\text{km}^2$ )	비유량( $\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ )
한 강	25,474.6	0.0162
안 성 천	1,699.60	0.0162
강릉 남대천	180.5	0.0084
삼척 오십천	391.1	0.0150
낙 동 강	23,288.7	0.0113
금 강	9,843.0	0.0224
삼 교 천	1,611.70	0.0224
영 산 강	684.0	0.0156
섬 진 강	5,564.4	0.0079
임 진 강	6,834.3	0.0162
한 탄 강	2,152.9	0.0162
형 산 강	1,044.1	0.0113
태 화 강	429.9	0.0113
회 야 강	129.9	0.0113
동 진 강	214.1	0.0224
만 경 강	879.2	0.0224
보 성 강	1,319.3	0.0079

으로 보이지만 위에서 언급한 바에 의하면 수온에 관한 자료가 한낮의 최고수온에 가까운 값이므로 여기서는 월 평균 최고기온을 이용하는 것이 타당한 것으로 판단하였다.

기온과 수온의 온도차를 이용하는 것을 기준으로 하여 산정한 하천수 미활용에너지 부존량과  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도차를 가정하여 산정한 부존량과는 그다지 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 일본에서  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도차를 이용하여 부존량을 산정하고 있는 것과 일치하며,<sup>19)</sup> 열펌프의 이용온도차가 대략  $5^{\circ}\text{C}$ 인 점과도 거의 일치하고 있다. 결국, 수온에 관한 현재의 자료로서는 정확한 온도차를 산정하기 힘들고, 또한 이것을 사용하여 계산하는 경우에 발생하는 오차가  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도차를 가정함에 따른 오차에 비해 작지 않을 것임을 고려하면 위의 방법에 의존하는 것이 현재로서는 보다 적절한 방법인 것으로 판단된다.

따라서, 하천수의 미활용에너지 부존량은 월평균유량에  $5^{\circ}\text{C}$ 의 온도차를 이용할 때 얻어지는 에너지로 정의한다. 이 경우 다음과 같은 제한조건이 부과된다.

① 추정을 위한 시간단위는 월로 하여 하천유량 Q는 월평균유량을 사용하고, 월평균유량은 실측치를 사용하며, 실측치가 얻기 힘들거나 자료의 신빙성이 부족할 경우에는 비유량법에 의해 산출한다.

② 이용온도차는  $5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하다.

③ 하천수는 상류로부터 흐르기 때문에 한번 이용된 물은 수온이 다소 상승된 상태이므로 하류에서 재이용하지 않는다.

### 3.3. 해수열에너지 부존량 조사

해수열에너지 부존량은 위에서 기술한 환경영향을 또

괄적으로 고려하여 정의하였다. 일반적으로 염도가 3.5% 정도인 해수의 경우 비열은 약 970 Mcal/m<sup>3</sup>·°C이다.<sup>[9]</sup> 해수 자체의 부존량은 거의 무한대라 할 수 있지만 냉난방에 이용하는 해수유량은 유효해안선 길이에 비례한다고 생각할 수가 있으며, 따라서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = (\text{유효 해안선길이}) \times (\text{해안선 단위길이당 이용가능 유량}) \quad (2)$$

해안선 단위길이당 이용가능 유량은 실제 해안의 지리적 구조 및 해류에 따라 결정되기 때문에 이 목적에 부합되도록 산출하기는 용이하지 않다. 본 연구에서는 일본의 관서지구에 대해 산출을 시도한 경우를 기준으로 하여,<sup>[7]</sup> 수심 10 m, 근해거리 1 km까지의 전 해수를 1개월 동안의 이용가능 해수량이라 규정하고, 따라서 해수 이용가능 유량을 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/월/m로 하였다. 한편, 만약 1 km 내의 수심이 10 m 보다 얇을 때는 실제 평균수심에 해당하는 수량을 적용하였다. 또한 해안선의 굴곡이 심할 경우 근해가 적어도 1 km가 되도록 적절한 직선 거리를 산출하고 이를 유효 해안선길이라고 하였다.

해양 환경을 고려하여 허용되는 온도차 Δt에 대해서는 아직 정량적인 법적 규제사항 또는 자료가 없기 때문에 국외 사례<sup>[10]</sup>를 고려하여 이용 온도차를 1°C로 하였다. 이상을 정리하면 해수열에너지 부존량 E는

$$E = 9,700(\text{Gcal/월/km}) \times \text{유효 해안선길이(km)} \quad (3)$$

로 된다. 만약, 근해 1 km 내의 평균수심이 10 m 보다 얇을 때는 식(3)에 10 m에 대한 평균수심의 비를 곱하면 된다.

$$E_{<10m} = [\text{식(3)에 의한 } E] \times \frac{\text{평균수심(m)}}{10(\text{m})} \quad (4)$$

해수의 온도자료는 조사대상 지역인 7개 도시에 대해 조사하였다. 해수온도는 한국해양자료센터에서 기록한 1986년부터 1995년까지의 10년간 월평균 해수면 온도를 이용하였다.<sup>[9]</sup>

이 10년간의 해수온도 자료를 이용하여 지역별, 월별 월평균 해수온도를 산출하였는데, 겨울인 1월의 경우 서귀포가 15.9°C로 가장 높으며, 군산이 2.8°C로 가장 낮은 특징을 보였다. 여름인 8월의 경우 서귀포가 25.7°C로 가장 높으며, 울산이 21.0°C로 가장 낮았다. 일반적으로 여름철에는 조사지역의 해수온도가 5°C 이내로 차이를 보이지만 겨울철에는 10°C 이상의 차이를 보이고 있다.

해수의 일중 온도변화를 조사하기 위하여 부산 지역

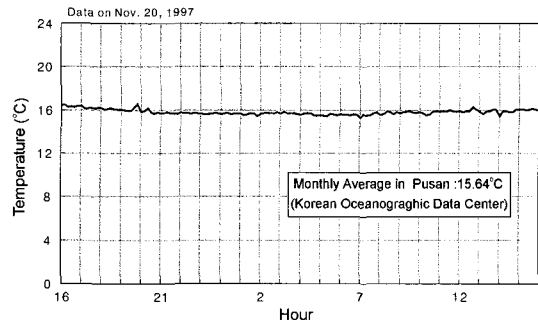


Fig. 2. Variation of daily sea water temperature in Busan.

Table 2. Effective coastline length of city.

지역	유효해안선 길이(km)	1 km 내 평균수심(m)
인천광역시 (영종도 포함)	23.7	10
	66.4	4
부산광역시 (가덕도 포함)	38.7	20
	23.2	5
울산광역시	34.8	20
	10.7	7
강릉시	14.0	20
군산시	41.1	5
목포시	28.2	18
	9.3	3
서귀포시	24.9	10

에서 PC용 Data Acquisition System을 사용하여 24시간 동안 매 5분마다 해수온도 측정을 하였다. 측정 결과는 Fig. 2와 같으며, 일중 해수온도 변화는 ±0.5°C 이내이었다. 이러한 특성은 특히 열펌프의 안정적 운전에 좋은 조건이라고 볼 수 있다.

유효 해안선길이는 국립해양조사원 발행의 연안해도를 사용하여 조사하였다.<sup>[10]</sup> 조사지역의 해안 구조는 실제로 목포의 경우 매우 복잡하고 수심의 변화가 심하며, 강릉과 서귀포의 경우는 대체로 단순하다. 유효 해안선길이 산출시, 우선 간조에 해저가 드러나는 해안은 이때의 해안을 유효 해안선으로 하였으며, 수심이 10 m 이하의 해안은 별도로 평균수심을 개략적으로 산출평균하여 별도로 산출하였다.

이러한 기준으로 산출한 조사지역의 유효 해안선길이는 Table 2와 같다.

### 3-4. 하수처리수 열에너지 부존량 조사

기준에 발표된 관련 연구에서는 이용온도차를 대략 5°C

Table 3. The Quantity of treated sewage in regions.

지역명	처리수량 (천톤/년)	지역명	처리수량 (천톤/년)
서울	1,497,793	충청북도	83,600
부산	223,203	충청남도	27,504
대구	277,345	전라북도	46,170
인천	126,001	전라남도	4,595
광주	120,609	경상북도	101,993
대전	117,635	경상남도	43,083
울산	10,220	제주도	20,515
경기도	471,456		
강원도	51,850	합계	3,223,572

로 가정하여 열에너지 부존량을 산출하고 있다. 이 값은 앞에서 언급한 바와 같이 열교환기의 용량과 효율 등을 감안한 경험상의 수치로 알려져 있다. 하수처리수가 갖는 열에너지의 부존열량의 계산에서 온도차로서는 두가지의 경우, 즉  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 인 경우와 실제온도차(수온-기온)에 대하여 각각의 부존열량을 계산하였다. 여기서 Q는 하수처리수량( $\text{m}^3/\text{mon}$ )으로서 Table 3에 나타난 바와 같으며, 비열은 하천수의 경우와 동일하다.

하수처리장의 처리수량, 기온, 수온, 수질과 관련된 자료는 환경부 발행 1996년 하수도 통계자료에 의존하였다. 한편, 하수처리장의 현황을 파악하기 위하여 대전광역시 원촌 수질환경사업소를 방문하여 월별 하수의 유입량, 방류수온, 기온 등을 수집하고, 1992년부터 1996년까지 5년간의 월별자료를 정리하였으며, Fig. 3은 1996년도의 월변화를 나타내고 있다.

그림에서와 같이 하절기에는 기온과 처리수온과의 차가  $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 에 지나지 않으나 동절기에는 그 차이가  $10^{\circ}\text{C}$  이상을 보이고 있어 동절기의 난방열원 활용가능성이 매우 높음을 보여주고 있다.

서울특별시를 포함한 광역시에서 처리하는 양은 전체의 73.6%로서 하수처리장의 처리규모는 대도시를 위주로 시설이 집중되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 각 광역시의 대표적인 하수처리장의 처리수온 변동을 나타낸 것이다. 여기서 일정한 온도차를 이

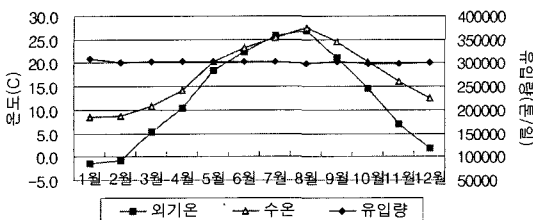


Fig. 3. Monthly treated sewage and the atmosphere temperature.

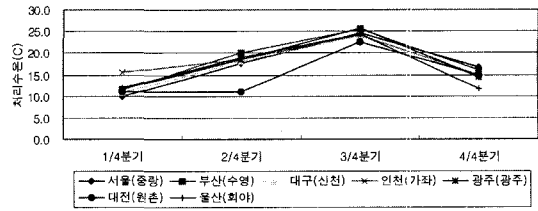


Fig. 4. Variation of treated sewage temperature in main cities ('96).

용하는 경우와 실제의 온도차를 이용하는 경우를 대상으로 검토하였으나 실제 온도차의 경우 하수처리장별로 심한 차를 보이고 있어 측정 온도자료에 대한 신뢰도가 낮은 것으로 보이므로  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 로 하여 계산하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

### 3-5. 미활용에너지의 부존량

이상의 정의와 절차에 의해 구해진 열원별 열에너지 부존량은 Tables 4~6과 같다. 다만, 해수열에너지의 경우 조사대상 지역 중 강릉이 136,000 Gcal/월로 가장 적는데, 이것은 강릉의 해안선 길이가 상대적으로 작기 때문이며, 여기서 이러한 부존량의 많고 적음이 해수열에너지의 이용가능성을 나타내는 직접적인 척도는 아니라는 점에 주의해야 한다.

따라서 이에 대한 구체적인 부존량의 자료 및 타당성에 대해서는 향후 추가적인 보완연구를 통해서 미활용에너지 map을 구성하여 확인할 필요가 있다.

Table 4. The energy quantity of river water and its availability.

지역	유량 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	부존량 (Tcal/년)	이용가능량 (Tcal/년)
서울	387.71	60,485	513
인천	0	0	0
경기	178.92	28,318	237
강원	28.53	4,063	38
충북	31.93	5,042	43
대전	84.905	12,217	103
충남	92.36	14,601	124
전북	93.36	14,754	125
광주	10.00	1,586	13
전남	36.94	5,852	48
대구	103.85	16,430	143
경북	63.7	10,046	87
부산	67.40	10,660	93
울산	6.34	1,003	9
경남	40.98	6,490	56
계	1226.925	192,087	1,632

**Table 5. The energy quantity of sea water and its availability.**

지역	부존량 (Tcal/년)	이용가능량 (Tcal/년)
인천광역시 (영종도 포함)	5,844	4,457
부산광역시 (가덕도 포함)	5,856	4,321
울산광역시	4,920	3,636
강릉시	1,632	1,227
군산시	2,388	1,812
목포시	3,612	2,726
서귀포시	2,904	2,099

**Table 6. The energy quantity of treated sewage and its availability.**

지역	일평균처리수량 (천톤/일)	부존량 (Gcal/년)	이용가능량 (Gcal/년)
서울	4,102	7,489	16,762.5
부산	611	1,116	2,447.4
대구	760	1,387	3,031.5
인천	345	630	1,394.4
광주	330	603	1,324.2
대전	322	588	1,300.7
울산	28	51	112.6
경기	1,225	2,356	4,035.5
강원	142	259	578.2
충북	229	418	786.9
충남	75	137	295.5
전북	127	230	422.6
전남	13	23	43.8
경북	280	540	1,124.4
경남	118	215	475.9
제주	56	103	223.0
총계	8,764	16,118	34,359.0

**4. 미활용에너지의 이용가능성**

**4-1. 이용가능열량의 정의**

이용가능열량은 앞에서 언급한 바와 같이 환경에 대한 영향을 고려한 상태에서 실제로 이용가능한 열량을 열원기기에 의해 회수한 경우의 출력으로서 얻어지는 열 수요측에서 이용가능한 열량으로 환산한 것을 이용가능 열량이라 정의할 수 있다.

미활용에너지의 이용은 미활용에너지의 활용시스템의 중요한 기기인 열펌프의 성능에 크게 좌우되므로 이용가능열량의 계산은 COP(성적계수)를 고려해야 한다.

즉, 이용가능열량은 식(5) 및 식(6)으로 주어지는 열량으로 정의할 수 있으며, 다만 실제의 이용형태를 고려하여 난방은 12월~4월까지의 5개월간, 냉방은 6월~9

월의 4개월간 이용하는 것으로 하였다.

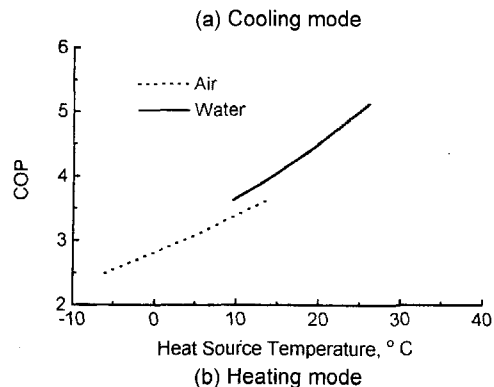
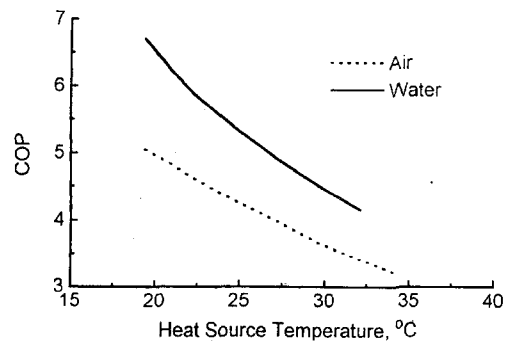
$$\text{냉방용 } E_c = \Delta t \cdot Q \cdot C \frac{\text{COP}}{\text{COP}+1} \quad (5)$$

$$\text{난방용 } E_h = \Delta t \cdot Q \cdot C \frac{\text{COP}}{\text{COP}-1} \quad (6)$$

**4-2. COP의 특성**

열원의 온도에 따른 열펌프의 성적계수 변화는 위에서 언급하였듯이 열펌프시스템의 여러 설계인자 및 운전변수에 의해 다르지만 국내에서는 아직 이러한 자료가 정립되어 있지 않은 실정이다. 따라서 Fig. 5는 일본의 와세다대학에서 발표한 자료로서 수열원과 공기열원의 온도에 따른 열펌프의 성적계수의 변화에 대한 일례를 보여주고 있다.<sup>[11]</sup>

이 그림에서 보는 바와 같이 열펌프의 COP의 값은 열원온도가 동일하다면 공기열원의 경우에 비해 수열원의 경우가 높다. 열원의 온도가 높을수록 난방의 경우 성적계수가 증가하고 냉방의 경우 성적계수는 감소한다. 이는 난방의 경우 열원이 증발기 열공급원으로 사용되므로 열원의 온도가 높을수록 열펌프의 증발온도가 높아 열펌프의 승온폭이 작고 따라서 압축기 동력이 감소



**Fig. 5. COP of heat pump system.**

하게 되므로 성적계수가 증가한다. 냉방의 경우는 열원이 응축기의 배열원으로 사용되며, 열원의 온도가 높을수록 열펌프의 응축온도가 높아져야 한다. 이는 열펌프의 승온폭을 상승시켜 압축기 동력을 증가시키므로 성적계수가 감소한다.

**4.3. 이용가능열량**

이용가능열량은 식(5) 및 식(6)에 의해 산정할 수 있다. 다만, 하천수의 경우 이용가능열량을 계산하기 위한 조건으로서 동일 흐름에서는 상류와 하류에서 이용가능열량을 이중으로 계산하지 않도록 하고, 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위해 유량의 1%를 온도차 5°C로 이용하는 것으로 하였다.

**4.4. 온도차에너지의 이용효과**

온도차에너지를 열펌프의 열원으로 한 냉·온열 제조 방식은 기존방식(보일러+냉동기)에 비해 일반적으로 초기투자비는 증가되지만 에너지절약에 의해 운전비가 절약된다. 온도차에너지이용시스템은 기존시스템과 비교하여 약 40%의 에너지절약 효과가 있으며, 환경부하(CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>)에 대해서는 약 37%의 삭감효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 축열조를 도입하면 전력부하 평준화도 도모할 수 있다. 아울러 경제성 제고를 위해서는 초기투자비의 저감을 위해서 사회기반시설로의 배관망을 설치하고, 초기투자비 증가분에 대한 정부보조금 지원 등이 마련되어야 하며, 열펌프의 승온기술 등과 같이 기술적 애로사항을 극복하여야 할 필요가 있다.

**4.4-1. 하천수의 경우**

하천수 열에너지를 이용할 경우 예상되는 에너지절약 효과 및 환경개선효과를 분석하기 위하여 1개 지역을 선정하여 검토하였다. 대상지역으로서는 서울시 마포구 상암지구에 계획되고 있는 15,000세대의 아파트 지역을 선정하였다. 하천수의 유량은 인도교 지점을 기준으로 하였다.

**4.4-2. 해수의 경우**

해수 열에너지를 이용할 경우 예상되는 에너지 절약 및 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 등 환경 유해가스 배출의 감소에 따른 환

**Table 8. Effects of energy conservation and environmental improvement by using sea water energy.**

구 분	1차에너지 절약 Gcal/년	오염물질 배출량		
		CO (ton/년)	SO <sub>x</sub> (ton/년)	NO <sub>x</sub> (ton/년)
열펌프	216,600 (68%)	30,675 (32%)	20 (67%)	22 (26%)
보일러	320,000 (100%)	94,408 (100%)	30 (100%)	86 (100%)

경개선 효과를 분석하기 위해 대상지역으로 부산광역시 해운대 신시가지의 지역냉난방설비를 선정하였다. 이 지역냉난방설비는 신시가지의 28,000여 세대 및 부대 상업시설에 주로 난방열을 공급하고 있다.

공급난방열량은 겨울철 1월에 39,983 Gcal/월, 여름철 7월에 7,858 Gcal/월(1998년 기준) 정도이다. 이를 토대로 연간 온열공급량을 산출하기 위해 겨울철 난방공조 기간 12월부터 3월까지의 40,000 Gcal/월, 여름철 6월부터 9월까지의 8,000 Gcal/월로 가정하였으며, 그 사이 기간은 최대와 최소의 중간값을 취하였다. 이렇게 개략 산출한 연간 온열 공급량은 288,000 Gcal/년이다.

종래의 석유 보일러로 온열공급을 하는 경우에 비해 해수열원 열펌프로 해수 열에너지를 이용할 경우, Table 7에 나타낸 바와 같이 1차에너지 소비는 32%가 절약되고, CO<sub>2</sub> 발생은 68%, SO<sub>x</sub> 발생은 39%, NO<sub>x</sub> 발생은 74% 가량 감소한다.

**5. 결 론**

본 연구는 미활용에너지의 이용을 추진하기 위해 기초자료를 구축하기 위한 목적으로 수행되었으며, 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 대해 평가하였다. 따라서 조사연구에서 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

- 1) 하천수에너지의 미활용에너지 부존량은 192,100 Tcal/년 정도이며, 환경에 미치는 영향 등을 검토하여 산정한 이용가능량은 1,630 Tcal/년인 것으로 추산되었다.
- 2) 해수에너지의 미활용에너지 부존량은 7개 조사대

**Table 7. Effects of energy conservation and environmental improvement by using river water energy.**

지구	구분	1차에너지 사용량 (Gcal/년)	오염물질 배출량		
			CO <sub>2</sub> (ton/년)	SO <sub>x</sub> (ton/년)	NO <sub>x</sub> (ton/년)
서울상암지구	heat pump	138,000	19,600	13	14
	석유환산	213,000	62,900	20	58
	절감량	75,000(35%)	43,300(69%)	7(35%)	44(76%)
에너지절약효과			환경개선효과		

상 지역에 대해 27,160 Tcal/년 정도이며, 이용가능량은 20,280 Tcal/년으로 추산되었다.

3) 하수처리수의 미활용에너지 부존량은 16,120 Tcal/년 정도이며, 이용가능량은 34,360 Tcal/년으로 추산되었다.

4) 미활용에너지의 이용은 열원 및 그 대상규모에 따라 다르나 특정지역을 대상으로 검토한 결과 35% 이상의 에너지절약효과 및 26% 이상의 오염물질배출량 감소효과를 기대할 수 있는 것으로 추산되었다.

### 참고문헌

1. 에너지경제연구원: “에너지 저소비형 경제구조로의 전환 및 기후변화 협약에의 대응” (1997).
2. P. Takahashi and A. Trenka: “Ocean Thermal Energy Conversion”, John Wiley & Sons (1996).
3. W.H. Avery and C. Wu: “Renewable Energy from the Ocean”, A Guide to OTEC, Oxford University Press (1994).
4. 通産省資源エネルギー廳監修: “21世紀を目指す未利用エネルギー活用システム”, 通産政策廣報社 (1990).
5. 久保猛志・垂水弘夫・宮村 壽: “ヒートポンプシステムの熱源としての河川水ポテンシャル 評価(その一)”, 日本建築學會大會學術講演概要集(關東), pp. 499-500 (1993).
6. 宮村 壽・垂水弘・夫久保猛志: “ヒートポンプシステムの熱源としての河川水ポテンシャル 評価(その二)”, 日本建築學會大會學術講演概要集(關東), pp. 501-503 (1993).
7. 社團法人 新エネルギー財團 地域エネルギー委員會編: “最新未利用エネルギー活用マニュアル”, オーム社 (1992).
8. 社團法人 日本ガス協會 未利用エネルギー活用研究會: “都市ガスによる未利用エネルギー活用システムについて(第1報)” (1991).
9. 한국해양자료센터: 연안정지 해양관측자료 (1995).
10. 국립해양조사원: 항해도서지목록 (1996).
11. 朴炳植: “未利用エネルギー種類と特質, 賦存量とその省エネルギー効果”, エネルギー・資源, Vol. 13, No. 2 (1992).