

# 하천수 미활용에너지의 부존량에 관한 조사연구

허재영\* 박준택\*\* ○김 산\*\*\*

## 1. 서론

하천수의 수온이 하기에는 기온보다 낮기 때문에 이것을 열원으로 이용한 heat pump에 의해 냉방을 하면 대기를 열원으로 한 heat pump를 이용하는 경우보다 효율이 높게 된다. 또한, 하천수의 수온이 동기에는 기온보다 높으므로, 이것을 열원으로 이용한 heat pump는 고효율로 난방운전을 할 수 있다<sup>1)</sup>. 이와 같이 미활용 하천수energy를 이용한 河川水熱 利用system은 온도차 에너지를 이용하여 기존의 system보다 고효율로 냉난방할 수 있는 기술이라 할 수 있다.

도시지역의 에너지 수요는 대체로 냉난방 급탕용의 현저한 증가에 기인하여 40~50℃ 정도의 중저온도역의 수요이고, 이것이 수백℃에서 천℃이상의 온도가 얻어지는 화석연료의 연소에 의해 공급되는 것은 에너지 관리면에서 합리적이지 못하다. 에너지의 종합이용효율은 에너지절약기술의 발달에도 불구하고 40%정도에 지나지 않으며, 따라서 60%에 달하는 손실에너지는 排熱(또는 廢熱)로 되어 대기나 해양에 버려지고 있는 실정이다<sup>2)</sup>.

도시부에 있어서의 排熱은 주로 하천, 하수도, 지하철, 하수처리장 등의 도시기반시설에서 발생하며, 따라서 이러한 排熱 또는 미활용에너지를 효율적으로 관리할 수 있게 된다면 환경보존형의 에너지 절약형 도시를 실현할 수가 있을 것이다.

중요한 미활용에너지 중의 하나인 하천수는 이미 오래전부터 하천에 인접한 공장 등에서 냉각수로 이용되어 왔으며, 하천수의 수온이 하기에는 대기온도보다 낮고, 동기에는 대기온도보다 높으며, 또한 수온이 비교적 안정되어 있다는 특성때문에 최근의 heat pump기술의 발달과 더불어 냉난방용 열원으로서 주목을 받게 되었다.

특히, heat pump를 활용하여 排熱을 이용하는 system은 그 규모나 열량 등에 있어서 한계가 있으며, 지구온난화가 급속하게 진행되고 있는 상황에서는 보다 적극적이고 광범위하게 排熱을 활용하는 기술이 필요하게 되었다. 이러한 환경에서 하천수열을 이용하는 heat pump system의 개발은 대단히 중요한 과제이다.

하천수 열원을 활용하기 위해서는 그 분포특성상 지역별 부존량 조사방법의 개발이 필요하다. 하천수 열원의 부존량 조사는 먼저 조사대상 하천 및 지역을 선정하고 계절별 하천수의 온도 및 유량자료의 획득에 의해 시작된다.

본 연구에서는 전국의 직할하천을 대상으로 평균수량 및 평균수온 등을 조사하여 하천수 열원의 부존량을 산정하였으며, 하천수 미활용에너지에 대한 정의를 확립하고 실제로 이용가능한 에너지의 공급원으로서의 가능성에 대해 토의하였다.

---

\* 대전대학교 토목공학과 부교수  
\*\* 한국에너지기술연구소 책임연구원  
\*\*\* 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

## 2. 국외의 이용예

국외에서 하천수를 이용한 지역 열공급사업의 역사는 비교적 오래되었으며 따라서 실시 예도 많다. 유럽에서는 비교적 위도가 높은 지역에 도시가 발달해 있기 때문에 지역난방이 주된 것이며, 미국에서는 하천수를 냉각수로 이용한 대규모의 빌딩냉난방의 실시예가 있다. 유럽 및 일본에서 하천수를 이용한 지역 열공급사업 중에서 주요한 것을 예로들면 표 1과 같다<sup>2), 3)</sup>.

표 1. 국외의 하천수 열원 이용상황

소재지	가동시기	열 공급규모	온수온도
스위스 추리히	—	5.8MW	74℃
"	1985	5.0MW	70℃
"	1988	13.4MW	72℃
독일 드레스덴	—	1.8MW	65℃
독일 상케르히		4.0MW	90℃
영국 런던	1995(예정)	2.0MW (장래는 2GW를 계획중)	
일본 東京 箱崎地區	1989	냉열 3200RT 온열 6,870Mcal/h	

## 3. 부존량 조사대상 하천

국내에서 하천수열을 이용한 heat pump system에 대해 본격적으로 시도한 예는 없으며, 이에 대한 필요성을 인식하고 있는 정도의 초보적인 단계이다.

본 연구에서 조사할 하천수 열원 조사대상은 년중 수량이 풍부한 직할하천을 대상으로 하였으며, 조사지점은 다음의 표 2에 나타낸바와 같다.

표 2. 조사대상 하천

수계	조사대상하천수	비고
한강	분류를 포함하여 3개하천	서울, 경기지역
금강	분류를 포함하여 3개하천	대전, 충남지역
영산강	분류를 포함하여 3개하천	전남지역
섬진강	분류를 포함하여 3개하천	전남 및 경남지역
낙동강	분류를 포함하여 6개하천	부산, 대구 및 경남 경북지역
기타	6개하천	
계	24개하천	

## 4. 부존량 조사방법의 표준화

#### 4.1 미활용에너지 부존량 산정에

##### 1) 일본 關西지구의 예<sup>1)</sup>

미활용energy 부존량의 정의는 온도차energy의 경우에는 냉방에 이용하는 경우와 난방에 이용하는 경우가 서로 다르다. 냉방용 부존열량의 경우에는

$$Q^U_C = \sum_{positive} (t^a_T - t^U_T) \cdot C_p \cdot \gamma_T \cdot W^U_T \quad (\text{kcal/년}) \quad (1)$$

으로 정의하며, 난방용 부존열량의 경우에는

$$Q^U_H = \sum_{positive} (t^U_T - t^a_T) \cdot C_p \cdot \gamma_T \cdot W^U_T \quad (\text{kcal/년}) \quad (2)$$

으로 정의한다. 여기서  $t^a_T$  : 기온 (°C),  $t^U_T$  : 海水, 湖沼水 등 이용매체의 온도 (°C),  $C_p$  : 이용매체의 比熱 (kcal/kg/°C),  $\gamma_T$  : 이용매체의 단위중량 (kg/m<sup>3</sup>),  $W^U_T$  : 매체의 총유량 (m<sup>3</sup>/h), 첨자  $T$  : 시간의 단위(시간, 일, 월 또는 계절),  $\sum_{positive}$  : 각 항의 값이 (+)로 되는 시간(日이나 月 등)에 대한 합이다.

##### (2) 일본 전국공공용수역의 하천수potential의 평가에<sup>4),5)</sup>

미활용energy 부존량의 정의는 월별 평균유량의 1%에 이용온도차 3°C를 곱하여 산정하고, 수온이 4°C이하로 내려가면 운전을 정지하는 것으로 하고 있다.

##### (3) 「미활용에너지 활용manual」에서의 산정에<sup>6)</sup>

일본의 신에너지재단에서 발행한 「미활용에너지 활용manual」에서는 미활용에너지의 부존량을

$$E = \Delta t \times Q \times C \quad (3)$$

로 정의하고 있다. 여기서  $E$  : 부존량 (Mcal/h),  $\Delta t$  : 하천수의 이용온도차(일반적으로 5°C),  $Q$  : 하천유량 (m<sup>3</sup>/h),  $C$  : 비열 (Mcal/m<sup>3</sup>·°C)

##### (4) 일본 gas협회의 산정에

미활용energy 부존량계산조건으로서 하천유량  $Q$ 는 (월)평균유량을 사용하고, 이용온도차는 5°C로 일정하다고 하고 있다.

##### (5) 일본 大阪(Osaka)시에 대한 산정에<sup>7)</sup>

자연energy에서는 환경에 대한 영향을, 도시폐열에서는 열회수system을 고려한 상태에서 실제로 이용가능한 열량을, 열원기기에 의해 회수한 경우의 출력으로서 얻어지는, 열수요측에서 이용가능한 열량으로 환산한 것을 이용가능열량이라 하고, 이용가능한 열량 중에서 수요량과의 시간적·공간적 불일치를 고려한 상태에서 실질적으로 공급가능한 열량을 공급가능열량이라 정의하고 있다.

#### 4.2 하천수 열원부존량 조사방법의 표준화

##### 1) 유량

최저수량 또는 갈수량은 홍수기에 약간의 변화를 보이지만, 연간변화가 그다지 크지 않기 때문에 년중 거의 일정한 유량을 확보할 수 있는 유량으로 해석할 수 있으나, 유량의 계절적인 변화

를 거의 무시하게 되므로 부존량을 과소평가하게 되며, 저수량은 갈수량의 변동보다는 다소 큰 변화를 보일 것이며, 이러한 시간적 변화에 대해서는 별도의 검토가 필요할 것이다. 평수량은 연간 180일은 사용할 수 없는 유량으로서, 夏期에는 그 유량이 풍부하므로 이용가능성이 높지만, 동기(冬期)에는 수량이 적다.

유량에 대한 안정성여부는 미활용에너지 이용가능량의 산정에서 고려되는 것이 일반적이므로, 부존량의 계산은 계절적인 변화를 포함하는 월별 평균유량을 사용하는 것이 타당할 것으로 판단하였다.

### 2) 수온

수온은 특별한 목적으로 설치된 지점을 제외하고는 상시 관측망이 거의 전무한 것으로 조사되었다. 다만, 수질조사를 목적으로 환경부에서 고정점에 대해 수온을 측정하고 있으나, 이것은 일 평균 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. 이러한 관측자료로부터 얻어지는 수온자료는 안정적 온도차를 확보할 수 있도록 일평균수온을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

### 3) 기온

미활용에너지의 부존량 파악을 위해서는 월평균기온을 이용하는 것이 타당할 것으로 보이지만, 다만 위에서 언급한 바대로 수온에 관한 자료가 한낮의 최고수온에 가까운 값이므로 여기서는 월평균 최고기온을 이용하였다.

## 4.3 미활용에너지 부존량의 정의를 결정하기 위한 시산

하천유량  $Q$ 는 (월)평균유량을 사용하고, 온도차는 ① 이용온도차는  $5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하다고 하는 경우와 ② 실제의 온도차(수온-기온, 또는 기온-수온)를 사용하는 경우의 두 경우에 대해 검토하였다. 표 3은 온도차에 대한 이들 두가지 기준에 대한 하천수 미활용에너지의 계산 예를 나타낸다.

표 3. 하천수 미활용에너지의 시산예

수계	미활용에너지 부존량(Mcal/yr)		비고
	실제온도차에 의한 경우	$\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 로 한 경우	
한강	$187.37 \times 10^6$	$165.31 \times 10^6$	
강릉 남대천	$0.25 \times 10^6$	$0.24 \times 10^6$	
삼척 오십천	$1.17 \times 10^6$	$0.93 \times 10^6$	
낙동강	$245.69 \times 10^6$	$219.64 \times 10^6$	
금강	$71.37 \times 10^6$	$66.53 \times 10^6$	
영산강	$8.54 \times 10^6$	$9.42 \times 10^6$	
섬진강	$22.82 \times 10^6$	$23.09 \times 10^6$	

표 3에서 보는 바와 같이 기온과 수온의 온도차를 기준으로 하여 산정한 하천수 미활용에너지

지 부존량과  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도차를 가정하여 산정한 부존량과는 그다지 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 식(3)에 의한 계산에서  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도차를 이용하여 부존량을 근사적으로 산정하는 것에 대한 타당성의 근거로 된다..

앞에서 언급한대로, 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.

#### 4.4 미활용에너지 부존량의 정의

이상의 계산결과로부터 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 하고, 따라서 하천유량  $Q$ 는 월평균유량을 사용하고, 월평균유량은 실측치를 사용하며, 실측치가 얻기 힘들거나 자료의 신빙성이 부족할 경우에는 비유량법에 의해 산출한다.

② 이용온도차는  $5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하다고 한다.

③ 하천수는 상류로부터 유하(流下)하기 때문에 한번 이용된 수량은 충분히 하류에서(즉 원래의 수온으로 회복될 수 있는 지점에서) 재이용 가능하다고 본다.

### 5. 부존량 계산결과

위의 제한조건을 따라 하천수열 부존량을 계산한 결과는 다음의 그림 1과 같다. 이 결과는 H-Q곡선에 의해 산정한 월 평균유량 또는 이것을 근거로 하여 비유량법에 의해 구한 월 평균유량을 사용하여 얻은 양이다. 당연한 결과로서 계절별 부존량의 변화가 상당히 큰데, 하절기에 에너지의 수요가 많다는 점을 감안하면 하천수 에너지의 유용성을 확인할 수 있으며, 그 외의 계절에는 거의 일정하고 안정적인 에너지를 공급할 수 있음을 알 수 있다.

### 6. 결론 및 금후의 연구계획

본 연구에서는 전국의 직할하천을 대상으로 평균수량 및 평균수온 등을 조사하여 하천수 열원의 부존량을 산정하였으며, 하천수 미활용에너지에 대한 정의를 확립하고 실제로 이용가능한 에너지의 공급원으로서의 가능성에 대해 검토하였다.

그러나 실제이용에 있어서는 여러 가지 사항이 고려되어야 한다. 먼저, 하천수의 이용형태에 따라 냉방에 이용하는 경우의 하천수온의 증가와 난방에 이용하는 경우의 하천수온의 저하가 생태계에 영향을 미칠 수가 있으므로 연간 하천유량과 이용가능량, 이용온도와 온도확산 등에 대해 충분한 검토가 필요할 것이다.

또한, 접수부의 재질에 따라 부식이 발생할 수 있으므로 내식성, 경제성, 전열특성 등에 대해 종합적으로 판단해야 한다. 이 외에도 생물 등의 부착방지를 위한 자동부착방지장치의 개발이 필요하며, 하천수에 기인하는 slime 등에 의한 전열성능의 저하나 열교환기tube의 폐색을 방지하기 위한 자동세정장치의 개발이 필요하다. 또한, 하천수로부터 유입되는 부유물, 비닐류, 목편, 길이가 긴 쓰레기 및 하천생물을 제거하기 위한 screen, strainer류의 개발이 필요하다.

현재 이 연구는 계속중에 있으며, 향후 기타 하천에 대한 계속조사, 하천수의 온도회석거리에 대한 검토, 전국 미활용에너지 부존map작성 등을 진행할 계획으로 있다.

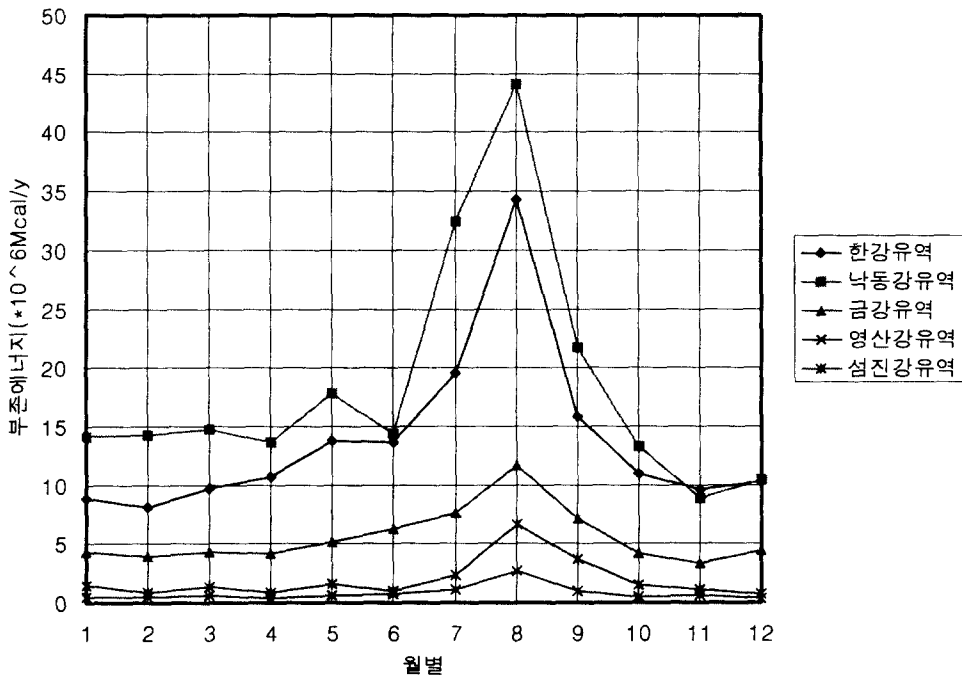


그림 1 . 미활용에너지 부존량의 월별분포

## 7. 참고문헌

- 1) 朴炳植, "未利用에너지-의種類와特質, 賦存量とその省에너지-效果", 에너지·資源, Vol. 13, No. 2, pp. 23~30, 1992
- 2) 吉田 一, "V 사이클형地域冷暖房의現況-箱崎地區의計劃と實績", 電氣評論, pp. 1239~1241, 1992, 12.
- 3) 通産省資源에너지-廳監修, "21世紀を指す未利用에너지-活用システム", 通産政策廣報社, 平成2年6月
- 4) 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價(その一)", 日本建築學會大會學術講演概要集(關東), pp. 499~500, 1993. 3
- 5) 宮村 壽·垂水弘·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價(その二)", 日本建築學會大會學術講演概要集(關東), pp. 501~503, 1993. 3
- 6) 社團法人 新에너지-財團 地域에너지-委員會編, "最新未利用에너지-活用マニュアル", 오ーム社
- 7) 社團法人 日本가스協會 未利用에너지-活用研究會, "都市가스による未利2用에너지-活用システムについて(第1報)", 1991. 2