

국내 하천수 미활용에너지 부존량에 관한 조사연구

박 일 환[†], 윤 형 기*, 박 준 택*, 장 기 창*, 이 영 수*

한국기술교육대학교 기계정보공학부, *한국에너지기술연구원 미활용에너지연구센터

A Study on the Potential Energy Reserve Amount of Domestic River Water as Unutilized Energy Resource

Il-Hwan Park[†], Hyung-Kee Yoon*, Jun-Taek Park*, Ki-Chang Chang*, Young-Soo Lee*

Department of Mechanical Engineering, Korea University of Technology & E., Cheonan 330-708, Korea

*Unutilized Energy Research Center, KIER, Daejeon 305-343, Korea

(Received January 20, 2005; revision received March 22, 2005)

ABSTRACT: This study has been conducted to investigate the potential energy reserve amount of river water as energy resource with useful temperature difference. Since the river water temperature is one of the primary parameters deciding the potential amount of river water energy reserve amount, the climate change effects on it are critically important. In this study, the heat exchange processes and the inter-relationship between the air temperature and river water temperature have been theoretically analyzed. Based on the present study, the potential energy reserve of river water is calculated to amount to 192,000 Tcal/year. Among this, it is estimated that approximately 2,000 Tcal/year can be directly utilized for heat pump energy sources.

Key words: Unutilized energy(미활용에너지), Energy reserves(에너지 부존량), Water/air temperature relationship(강물/대기온도관계), Heat transfer(열전달)

기 호 설 명

A : 유로 단면적 [m^2]

a_w : 물표면 알베도(반사율)

b : 유로 평균 폭 [m]

C : 비열

Cd : 물 표면 저항계수

E : 에너지 부존량

H_c : 대류 열유속

H_e : 증발 열유속

H_{la} : 대기의 장파(long wave) 복사에너지

H_{lw} : 물 표면에서 방출한 장파 복사에너지

H_{ms} : 정미 태양열 복사에너지

H_p : 강수(강우 및 강설)에 의한 열유속

i : 엔탈피

K_e : 열전달계수

l_v : 증발의 잠열

M_{sh} : 차광계수

P : 대기압

q : 하천의 단위폭당 유량

Q : 유량 [m^3/s]

S : 생성항

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-560-1121; fax: +82-41-560-1253

E-mail address: hwan@kut.ac.kr

- S_i : 대기권 밖(대기 꼭대기) 태양복사열
 t : 시간 [s]
 T : 온도 [K]
 T_e : 평형온도 [K]
 W : 질량유량 [kg/s]
 x : 유로의 흐름방향거리 [m]
 z : 기온, 노점온도 측정위치의 고도 [m]
 z_0 : 물표면 거칠기(momentum roughness)

그리스 문자

- ρ : 밀도
 χ : von Karman 상수
 τ : 대기투과율
 ϵ : 복사율

하첨자

- 0 : 상류
 a : 공기
 A : 이용 가능량
 C : 냉방
 H : 난방
 i : 날짜 번호
 in : 유입
 out : 유출
 n : 시간 수(1일)
 w : 하천수

1. 서 론

하천수의 수온은 여름철에는 대기온도보다 낮고 겨울철에는 대기온도보다 높기 때문에 이 온도차를 활용하는 것이 온도차에너지이다. 이러한 하천수를 열원으로 한 냉난방용 열펌프는 대기열원 열펌프보다 효율이 높다. 하천수 온도차에너지는 수온이 비교적 안정되어 있다는 특성 때문에 미활용에너지로서 주목을 받게 되었다.

하천수를 열원으로 이용하기 위해서는 그 분포 특성상 지역별 부존량 조사가 필요하며, 이러한 부존량을 추산하기 위해서는 먼저 대상 하천 및 지역을 선정하고 계절별 하천 수온 및 유량자료를 확보하여야 한다.

하천수의 온도는 대기온도와 밀접한 상관관계를 갖고 있으며,⁽¹⁾ 이에 따라 하천수가 일정한 거리를 흘러감에 따라 평형온도에 달하게 된다는 것을 예측할 수 있다. 온도차에너지로 한번 사용된 하천수가 원래 온도로 회복되기 위해서는 일정거리 즉 회복거리를 흘러간 후 일 것이다.

본 연구에서는 하천수의 온도 및 수량변화를 고려한 하천수 온도차에너지의 이용 가능 부존량의 산정방법을 제안하였다. 또한 전국의 직할하천을 대상으로 평균 수량 및 평균 수온 등을 조사하여 하천수 온도차에너지의 부존량을 산정하고, 냉난방용 열공급원으로 이용 가능량을 추산하였다.

2. 하천수 온도와 대기온도의 상관관계

하천수는 대기 및 하천바닥(토양)과 접하고 있으므로 하천수 온도결정에 있어서 이 양자와의 열전달을 고려해야 하지만 하천바닥의 경우 하천수가 장시간에 걸쳐 흐르는 관계로 하천수와의 온도차는 크지 않아 대기와의 대류, 증발 및 복사에 의한 열전달에 비해 무시할 수 있다고 판단하여 고려하지 않았다. 하천수 온도와 대기온도 사이의 상관관계에 대한 열전달방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial(QT)}{\partial x} = \frac{bS}{A\rho_w C_w} \quad (1)$$

생성항 S 는 공기-물, 그리고 침전물-물의 경계를 통과하는 열유속(heat flux)의 합을 나타낸다. 1992년 Sinokrot and Stefan은 침전물의 열유속이 시간단위별 혹은 일일단위별로는 물의 온도결정에 중요한 역할을 하지만 장기간에 대해서는 무시할 수 있다고 보고하였다.⁽²⁾ 여기서 S 는 공기-물 경계를 통과하는 열유속 합계로 다음과 같이 정의한다.

$$S = H_{ns} + H_{la} - H_{lw} - H_e + H_c + H_p \quad (2)$$

장시간에 대한 열전달 프로세스의 해석에 있어서 각 시간 step 동안에 준정상상태라고 가정한다. 그러므로 식(1)의 좌측 첫 항은 생략할 수 있다. 하천에 크게 영향을 미치지 않는 범위 내에서 유량 Q 가 변한다면, 부분 미분계수에서 Q 는

일정하다. S 는 다음과 같은 평형온도 개념을 사용하여 선형화할 수 있다.

$$S = K_e(T_e - T) \quad (3)$$

여기서 T_e 는 공기-물 사이의 경계에 열전달이 더 이상 일어나지 않는($S=0$), 즉 대기 중에서 가열-냉각이 일정한, 물의 도달온도인 평형온도로써 공기온도, 노점온도, 그리고 풍속의 함수이다. 식(3)의 S 를 식(1)에 대입하여 미분방정식을 풀면 하천수온도에 대한 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$T = T_e + (T_0 - T_e) \exp\left(-\frac{K_e x}{\rho_w C_w q}\right) \quad (4)$$

식(4)는 상류의 물온도에서 평형온도까지 거리와 함께 변한다는 것을 말한다. 일반적으로 알은 하천에서의 조사를 보면 물온도가 시간단위로 4에서 6시간 지연되어 하루에 두 번 엇갈리면서 평형온도를 향하여 움직인다. 하천연장이 장거리(x 가 큰)일 때 주간단위의 물온도는 대기조건에 의해 크게 영향을 받으며, 주간 평균 평형온도에 아주 가깝다. 작은 하천유역인 경우나 유량이 많은 계절의 물온도는 상류 물온도 T_0 에 가깝게 유지된다. 대기온도에 대해 평형온도와 상류 물온도를 분명하게 관련지을 수 있다면 하천수온도와 대기온도에 대해 상관관계를 설명할 수 있다.

평형온도는 대기-물 사이의 경계에서 열유속의 합이 "0"일 때 얻을 수 있다. 주간단위 시간에 대해 강수에 의한 열유속은 식(2) 우측의 다른 항에 비교하였을 때 아주 작아서 무시할 수 있으며, 나머지 항을 전개시키면 다음과 같다.

$$H_{ns} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \tau_i (1 - a_w)(1 - M_{sh}) \quad (5)$$

$$H_{la} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma T_{a_i}^4 \quad (6)$$

$$H_{lw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_w \sigma T_{e_i}^4 \quad (7)$$

$$H_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_{ei} v_i (e_{wi}^* - e_{di}^*) \quad (8)$$

$$H_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_{ci} v_i (T_{a_i} - T_{e_i}) \quad (9)$$

$S_i \tau_i$ 는 물의 표면에서 발생하는 태양 복사열이다. 투과율은 태양의 고도 각, 구름 낀 정도, 구름 형태 등의 함수이다. 일일 시간단위에 대해서 Burridge and Gadd는 $\tau = 0.73(1 - 0.5f)^3$ 로 단순화하였다.⁽³⁾ 여기서 f 는 구름 형태를 무시하고 하늘 돔(sky dome)에 대한 구름에 의해 가려진 부분의 비율이다. 식(5)의 물 표면 반사율 a_w 은 하천혼탁도(turbidity)에 따르며 0.06에서 0.12까지 변한다. 계수 M_{sh} 는 하천의 차광계수로 0~1에서 변한다.

대기 복사율은 대기온도, 습도, 그리고 구름량의 함수이다. Satterlund에 의해 주어진 실험식을 사용하여 구름량의 효과를 환산하면 대기 복사율은 0.78에서 0.98 사이에서 변한다.⁽⁴⁾ 물 표면에서 복사율은 0.97이다. Stefan-Boltzman 상수인 σ 는 $5.6 \times 10^{-2} \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ sK}^4)$ 이며, v 는 바람의 속도, 그리고 e_w^* 와 e_d^* 은 각각 물 표면과 대기의 증기압(노점온도에서 포화증기압)이다.

σT^4 항은 대기나 하천수온도의 전형적인 범위(-30°C 에서 50°C)에서 선형방정식에 가깝다. 일반적으로 장파형 복사 H_l ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$)는 역 최소자승법에서 유도한 다음 식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$H_l = \epsilon(28.38T + 0.46) \quad (10)$$

증발 열유속에 대한 확산계수 D_e 과 대류 열유속에 대한 확산계수 D_c 는 물 표면 위의 경계층 속도분포(boundary layer velocity distribution)를 이용하여 계산할 수 있다. 단위시간의 대기 불안정은 무시하고 일일 평균을 사용한다.

$$D_e = 0.622 \frac{l_v}{P} \frac{\rho_a x^2}{[\ln(z/z_0)]^2} \quad (11)$$

$$D_c = \left(\frac{100}{P}\right)^{0.285} \frac{\rho_a C_a x^2}{[\ln(z/z_0)]^2} \quad (12)$$

잠열과 대기압은 공기온도에 약하게 의존하므로 일정하다고 가정할 수도 있다. Shuttleworth에 의하면 물 표면 거칠기는 보통 호수에 대해 0.06 정도이며,⁽⁵⁾ 이것은 풍속, 하천수 유속, 그리고 하천 바닥 거칠기의 함수로 다음과 같다.

$$Z_0 = \frac{z_r}{\exp(x/\sqrt{Cd_r})} \quad (13)$$

여기서 하침자 r 은 풍속을 측정 한 곳의 높이를 나타낸다. 저항계수는 다음의 실험방정식으로 구할 수 있다.

$$Cd_r = (a + bu_r)10^{-3} \quad (14)$$

Deacon and Webb에 의하면 보통 물 표면 위 $r=10\text{ m}$ 높이에서 a 와 b 는 각각 1.0과 0.07 s/m이다.⁽⁶⁾ 식(2)에 식(5)~(9) 및 식(10)을 대입하고 일일 평균과 시간변동 항으로 하여 각각 스칼라량으로 분석하면($x = \bar{x} + x'$) 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} &(1 - a_w)(1 - M_{sh})(\overline{S_i \tau} + \overline{S_i' \tau'}) \\ &+ \overline{\epsilon_a}(28.38 \overline{T_a} + 0.46) \\ &- \overline{\epsilon_w}(28.38 \overline{T_e} + 0.46) \\ &+ \overline{D_c v}(\overline{T_a} - \overline{T_e}) \\ &- \overline{D_e v}(\overline{e_w^*} - \overline{e_d^*}) \\ &+ M_0 + M_1 - M_2 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 세 변수 M_0, M_1 , 그리고 M_2 는 각각 $28.38 \overline{\epsilon_a} T', (D_c u)'(T'_a - T'_e), (D_e u)'(e_w^{*'} - e_d^{*'})$ 이다. 식(15)을 정리하면 다음과 같다.

$$\overline{T_e} = B_0 \overline{T_a} + B_1 - B_2(\overline{e_w^*} - \overline{e_d^*}) \quad (16)$$

여기서

$$B_0 = \frac{28.38 \overline{\epsilon_a} + \overline{D_c v}}{28.38 \overline{\epsilon_w} + \overline{D_c v}} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} B_1 = &\frac{\overline{S_i \tau}(1 - a_w)(1 - M_{sh}) + 0.46(\overline{\epsilon_a} - \overline{\epsilon_w})}{28.38 \overline{\epsilon_w} + \overline{D_c v}} \\ &+ \frac{M_0 + M_1 - M_2}{28.38 \overline{\epsilon_w} + \overline{D_c v}} \end{aligned} \quad (18)$$

$$B_2 = \frac{\overline{D_e v}}{28.38 \overline{\epsilon_w} + \overline{D_c v}} \quad (19)$$

만일 B_0 와 B_1 이 온도의 함수가 아니고 또

$B_2(\overline{e_w^*} - \overline{e_d^*})$ 가 아주 적은 경우, 즉 식(15)에서 다른 항에 비하여 증발의 열유속이 작다면, 평형온도와 대기온도의 관계는 선형이라고 할 수 있다.

Fig. 1은 하류방향 하천온도 분포를 나타낸 것이다. 하천수 온도는 상류·지점의 어떤 온도 T_0 에서 출발하여 하류의 평형온도를 향한다. 상류는 따뜻한 조건(여름 냉방 후 배출수)과 차가운 조건(겨울 난방 후 배출수)의 두 가지 형태가 있을 수 있다.

평형온도도 기후와 함께 변하며 이것은 시간 $t=x/v$, 말하자면 거리 x 와 유량 vh 와 함께 변한다. 여기서 h 는 하천 깊이이다. Fig. 1에서 $T(x)$ 곡선은 식(4)의 해이다. 이와 같이 상류 경계로부터 자유흐름 조건 하에서 대기가 물온도를 결정한다. 이를 이용하면 하천의 평형온도에 달한 회복거리를 구하여 최대취수 가능회수 n 을 알 수 있다.

또한 1회 취수하는 질량유량 W_{Ain} 는 사용 후 하천으로 되돌아온다고 할 때 전체 하천수의 질량유량 W 사이에 다음과 같은 에너지방정식이 성립한다.

$$Wi + W_{Ain} i_{in} - W_{Aout} i_{out} = (W + W_{Ain} - W_{Aout})u \quad (20)$$

여기서 i 는 하천수 엔탈피, u 는 내부에너지이다. 식(20)을 이용하면 토출 지점에서의 온도 T_0 를 구할 수 있다.

Fig. 2는 $T_0 - T_e = 2^\circ\text{C}$ 일 때 하천별 수온 회복

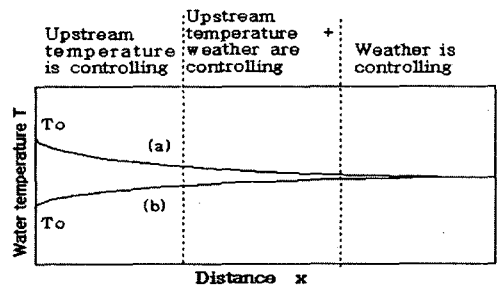


Fig. 1 Influence of the upstream water temperature on stream temperature with respect to distance.

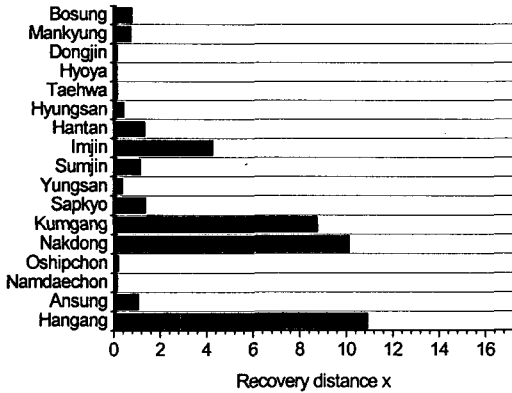


Fig. 2 Recovery distance of river water temperature.

거리를 계산한 예로서 수량이 적은 하천은 수량이 풍부한 하천에 비해 대기과 열전달이 빨라 회복거리가 1~4 km이고, 수량이 풍부한 하천은 10 km 내외임을 알 수 있다.

3. 하천수 온도차에너지 부존량

3.1 하천수 온도차에너지 부존량 추산방법

온도차에너지 부존량 추산은 일본 NEDO가 활용한 『最新未利用エネルギー活用マニュアル』(新エネルギー財團編)의 추산방법을 이용하여 계산하여 발표한 연구보고서가 있다.⁽⁷⁾ 이 추산방법에 의하면 부존량은 온도차 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 에 연평균 질량 유량과 비열 ($C=1.0\text{Mcal}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$)을 곱하여 산출하였다. 또한 이용 가능량은 유량을 연평균 유량의 1%를 이용하는 것으로 하여 열펌프의 성적계수 변화를 고려하여 산출하고 있다.

하천의 유량을 지배하는 것은 강수량, 유역면적, 지형, 지세, 지질상태, 지표상태 등이다. 일반적으로 수위-유량관계를 나타낸 곡선(rating curve)을 사용하여 유량을 산정하는 경우 일수위자료의 신뢰성, 결측 및 저수위의 유량측정 결과의 부족으로 인한 수위-유량곡선의 불확실성 때문에 산정 유량에 오차가 수반될 수 있다.

하천 유량은 하천단면이 매년 변화하기 때문에 연속적인 유량관측이 필요하다. 현재 우리나라는 연속적인 수위관측을 하고 있으나 신뢰할 만한 유량자료는 충분하지 않다. 따라서 본 연구에서는 각 하천에서 매년 관측되고 있는 지점 중에서

가장 신뢰도가 높은 지점을 선별하고 그 지점의 유량자료를 이용, 다른 지점의 유량을 유추하는 비유량법(比流量法)으로 유량을 산정한다. 비유량법으로 산정된 유량은 전체 유역면적에 대한 평균 유량이다. 비유량 $q_0(\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2)$ 은 단위면적당 유량으로서, 고수유량(高水流量) $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 과 유역면적 $A_f(\text{km}^2)$ 의 비이다. 하천수 온도차에너지 부존량은 식(22)로 산출한다.

$$Q = q_0 \cdot A_f \quad (21)$$

$$E = \sum \Delta t \cdot C \cdot W \quad (22)$$

여기서 W 는 질량유량으로 식(21)을 이용하여 구할 수 있으며, C 는 비열, 온도차 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 이다.

한편 이용 가능량의 산정에 있어서 일본 NEDO에서와 같이 연평균 유량의 1%를 이용하는 것은 실용상 간단하지만 근거가 불명확하다. 또한 앞에서 설명한 바와 같이 한번 사용된 하천수라 하더라도 일정거리를 흘러가면 대기와의 열교환을 통해 온도가 회복되므로 재사용이 가능하다.

하천법 제20조에 의하면 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량인 '하천유지유량'을 산정하여 고시하도록 정하고 있다. 또한 하천의 유수를 사용하고자 하는 자는 하천법 제33조에 따라 하천관리청의 허가를 받아야 하며, 당해 하천의 하천유지유량을 감안하여 하천유수의 여유가 있는 경우에 허가하게 된다. 따라서 하천수의 이용 가능량은 이런 점을 고려해야 할 것이다.

위의 물리적 제한을 고려하여, 하천수의 재사용가능 지점은 대기온도와 열교환에 의해 평형온도에 달한 수온회복거리를 지난 지점으로 한다. 하천수 이용 가능 유량은 다음 식으로 산정한다.

$$W_A = \zeta \frac{W - W_{\min}}{n} \times m \quad (23)$$

여기서 W_{\min} 은 연평균 하천유지유량, n 은 최대취수 가능회수로 하천 전체 연장을 수온회복거리 x 로 나눈 값이며, m 은 실제 취수회수율(=0.9)이다. 또한 ζ 는 1회 취수에 있어서 물리적 및 사회적 제한을 고려한 계수로 여기서는 0.25(농촌지역)~1.0(도시지역)의 값을 주었다.

하천수 온도차에너지의 이용 가능량은 하천으로부터 냉난방으로 공급 가능한 최대 이용 가능량과 수요 측에서 얻을 수 있는 열펌프의 COP를 고려한 실제 이용 가능량을 생각할 수 있다. 최대 이용 가능량은 다음과 같이 정의한다.

냉방용 최대 이용 가능량

$$E_{C, \max} = \sum_C \Delta t \cdot C \cdot W_A \quad (24)$$

난방용 최대 이용 가능량

$$E_{H, \max} = \sum_H \Delta t \cdot C \cdot W_A \quad (25)$$

여기서 $\sum_C \sum_H$ 는 각각 냉방기(6월~10월), 난방기(11월~4월)에 대한 합을 의미한다. 수요 측에서 얻을 수 있는 실제 이용 가능량은 열펌프 사용을 전제로 수온변화에 대응하는 성적계수를 이용하여 다음 식으로 정의한다.

냉방
$$E_C = \frac{COP}{COP+1} E_{C, \max} \quad (26)$$

난방
$$E_H = \frac{COP}{COP-1} E_{H, \max} \quad (27)$$

3.2 하천수 온도차에너지 부존량 조사

하천수 온도차에너지 부존량의 산출을 위해서는 유량, 수온, 기온 및 이용가능 온도차의 조사

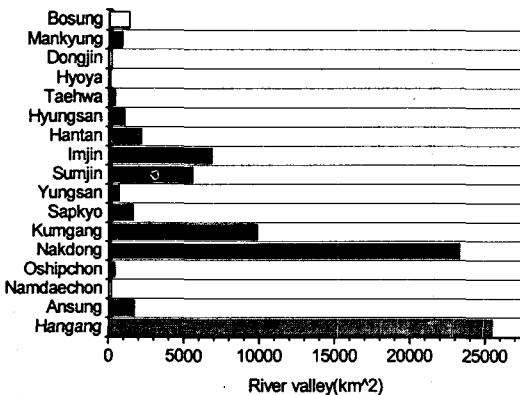


Fig. 3 River valley.

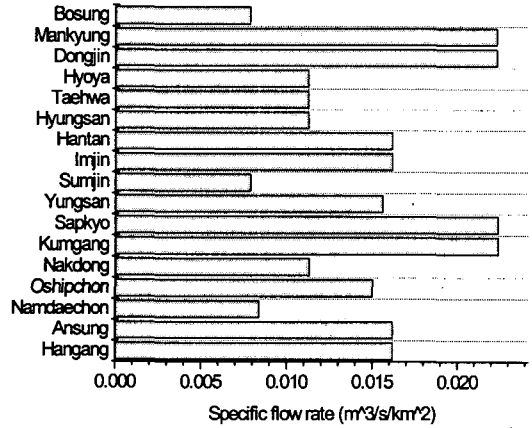


Fig. 4 Specific flow rate.

가 필요하다. Fig. 3은 조사대상 수계의 유역면적을 나타낸 것으로, 연중 수량이 풍부한 직할하천으로 17개 수계에 50개 하천이다.

한편 수온은 수질조사를 목적으로 환경부에서 고정점에 대해 측정하고 있으나, 이것은 일평균 수온을 측정하는 것이 아니라, 대부분 한낮에 측정이 이루어지고 있어서 일최고수온에 가까운 값이다. 따라서 정확한 온도차에너지 부존량의 계산을 위해서는 활용 가능성이 큰 지점에 수온의 상시 관측이 필요하다.

Fig. 4는 17대 수계의 비유량으로 수자원공사가 각 하천별로 측정된 것이며, 이를 이용하여 식 (21) 및 (22)로 국내 각 하천별 하천수 온도차에너지 부존량을 산정하여 Fig. 5에 나타내었다.

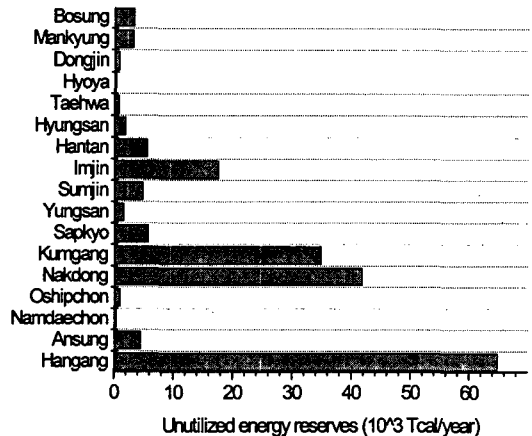
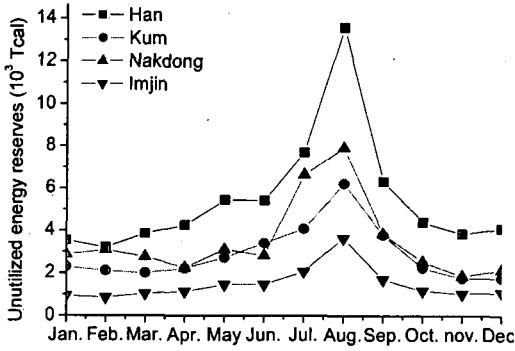
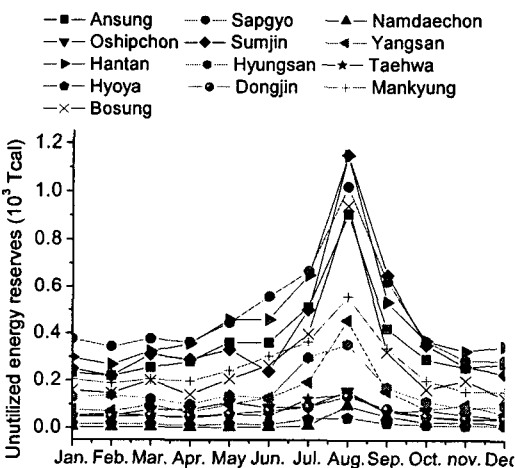


Fig. 5 River water unutilized energy reserves by rivers.



(a)



(b)

Fig. 6 Monthly river water unutilized energy reserves.

Fig. 6의 (a) 및 (b)은 하천별 온도차에너지 부존량을 월별로 나타낸 것이다. 계절별로는 유량이 풍부한 8월에 최대치를 보이고, 그 외에는 거의 일정한 분포를 보이고 있어 하천수도 비교적 안정적인 에너지원임을 알 수 있다.

3.3 하천수 온도차에너지 이용 가능량

하천수 온도차에너지 이용 가능량은 열수요 측의 실제 이용 가능 에너지량이다.

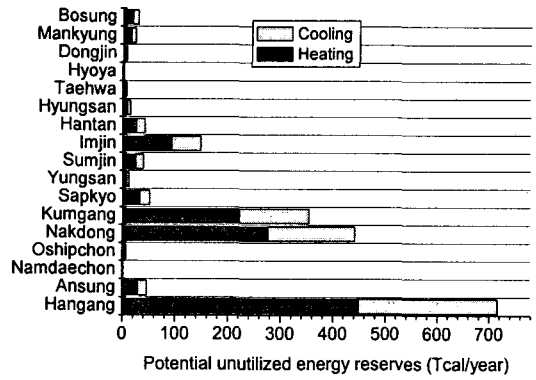


Fig. 7 Potential amount of river water unutilized energy.

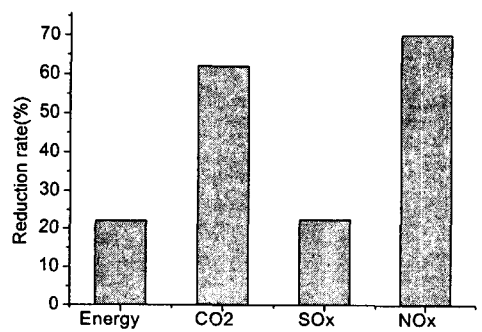


Fig. 8 Reduction rate of pollution materials.

Fig. 7은 하천수 온도차에너지 이용 가능량을 하천별로 나타낸 것으로 한강, 낙동강, 금강 등에서는 많은 에너지를 얻을 수 있다. 이용 가능량은 식(26), (27)에서 COP는 기 발표된 값으로 하천수 온도변화에 따라 난방 COP=3.5~5, 냉방 COP=4~6.5로 변하는 값을 사용하였다.⁽⁸⁾ 국내 하천수 에너지의 총이용 가능량은 약 2,000 Tcal/year이다.

Table 1의 공해물질 배출기준에 따르면 연간 배출량 기준으로 열펌프를 사용한 하천수 온도차 에너지를 이용하는 열공급시스템은 기존의 흡수 냉동기(2중효용, COP=1.05) 및 보일러(효율=0.9)를 이용한 열공급시스템보다 Fig. 8에 표시한 바와 같이 62%의 CO₂, 22%의 SO_x, 그리고 70%의 NO_x를 줄일 수 있는 것으로 산정된다.

Table 1 Producing rate of pollution materials

	Low calorific value	CO ₂ (kg/kg)	SO _x (g/kg)	NO _x (g/kg)
A Oil	10,850 (kcal/kg)	3.201	1.0	2.916
E. Power	2,450 (kcal/kWh)	0.347	0.2245	0.2525

4. 결 론

본 연구는 하천수 온도차에너지 이용 가능량의 산출에 필요한 하천수 온도변화를 물리적으로 구하기 위해 하천수온도와 대기온도 사이의 관계를 해석하는 모델을 제시하고 수온회복거리의 개념을 도입하였다.

또한 전국의 직할하천 17개 수계 50개 하천을 대상으로 평균 수량을 조사하여 하천수 온도차에너지 부존량을 산정하고, 수온회복거리를 이용하여 실제로 이용 가능한 하천수 온도차에너지 이용 가능량을 도출하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 하천수의 수온회복거리에 대한 해석결과 여러 가지 조건에 따라 차이가 있지만 대체로 적은 유량을 사용하는 수량이 적은 하천은 1~4km 범위에서 많은 유량을 사용할 수 있는 수량이 풍부한 하천은 10km 내외에서 평형온도로 회복된다.

(2) 국내 하천의 하천수 온도차에너지의 부존량은 한강 65,000 Tcal/year, 낙동강 42,000 Tcal/year, 금강 35,000 Tcal/year 등으로 3대 강이 대부분을 차지하며, 17대 주요 하천의 미활용에너지 부존량의 합은 약 192,000 Tcal/year이다.

(3) 하천수 온도변화에 따라 난방 COP=3.5~5, 냉방 COP=4~6.5로 변하는 열펌프를 이용한 경우 전체 하천수 미활용에너지 이용 가능 열량은 약 2,000 Tcal/year으로 산출되었다.

(4) 하천수 온도차에너지 이용 가능량을 실제 열펌프로 지역냉난방 등에 공급하는 경우 통상의 석유보일러와 흡수식 냉동기시스템에 비해 22%의 에너지소비절감과 62%의 CO₂ 삭감, 22%의 SO_x 삭감, 70%의 NO_x 삭감을 기대할 수 있어 공해물질 저감에 기여할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세

기 프론티어 사업(이산화탄소 저감 및 처리기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Smith, K., 1981, The prediction of river water temperature, Hydrological Sciences-Bulletin, Vol. 26, No. 1, pp. 19-32.
2. Sinokrot, B. and Stefan, H., 1992, Deterministic modeling of stream temperature, Univ. of Minnesota, St. Anthony Falls Lab. P. report No. 337, Minneapolis, MN.
3. Burridge, D. M. and Gadd, A. J., 1974. The meteorological office operational 10 level numerical weather prediction model, British Met. Office Tech. Notes 12 and 14, London.
4. Satterlund, D. R., 1979, An improved equation for estimating long wave radiation from the atmosphere, Water Res. 15, 1649-1650.
5. Shuttleworth, W. J. 1993, Evapotranspiration, In: Maidment, D. R., Handbook of Hydrology, MacGrawHill, New York.
6. Deacon, E. L. and Webb, E. K., 1962, Small scale interactions, In: Hill, M. N., The sea, Interscience, New York.
7. Park, J. T., Yoon, H. K., Park, S. R. Kuen, C. H., Moon, S. H, Lee, S. N. and Jung, S. Y., 1998, Research on the unused energy reserves and the potential for its utilization, Report of MTCE, Report No. 97-E-ID02-P-16/KIER-973427.
8. Park, B. S., 1992, The energy saving effect, Feature and Energy Reserves of the Unused Energy, Energy · Resource (Japanese), Vol. 13, No. 2, pp. 23-30.