New & Renewable Energy 2019. 3 Vol. 15, No. 1
ISSN 1738-3935
https://doi.org/10.7849/ksnre.2019.3.15.1.009

[2019-3-GT-002]

국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (2) 회귀수의 수온이 환경에 미치는 영향 평가

정재원[1)] · 남지수[2)] · 김진상[3)] · 정성은[1)] · 김형수[4)*]

Feasibility Study on the Use of River Water Hydrothermal Energy in Korea : (2) Impact Assessment of the Change in Water Temperature of Return Flow on the River Environment

Jaewon Jung[1)] · Jisu Nam[2)] · Jinsang Kim[3)] · Sungeun Jung[1)] · Hung Soo Kim[4)*]

Received 18 October 2018 **Revised** 2 January 2019 **Accepted** 9 January 2019

ABSTRACT Utilization of the hydrothermal energy of river discharged water has attracted attention because the hydrothermal energy of sea surface water, which is based on the energy from a temperature difference, was recently assigned as a source of new renewable energy. If the hydrothermal energy of river discharged water can be used as a source of new renewable energy, its general usability should be considered in detail. Hence, the influences of the water temperature of return flow on the river environment, which is used as hydrothermal energy using a heat pump and discharged to the river, need to be determined. This study examined the effects of water temperature of the return flow on the river ecosystem as well as protected species in the water intake area. The affected area of the ecosystem by water temperature was also assessed by calculating the recovery distance for the return flow water temperature of discharged water from a heat pump. The technical aspect and the acceptance of the stakeholder were also considered. In conclusion, this study could provide basic data for reviewing hydrothermal energy of river discharged water as an energy source.

Key words Unutilized energy(미활용에너지), River water hydrothermal energy(하천수 수열에너지), Water temperature recovery distance(수온회복거리)

1. 서 론

현재 국내에서는 온실가스 감축을 위한 에너지 정책의 중장기적인 방향으로 기존 신재생에너지의 보급 확대를 추진하고 있으며, 이와 함께 지속적인 미활용에너지(unutilized energy)의 유용성 및 잠재성을 평가하고자 하고 있다. 여기서, 미활용에너지란 일상생활에서 직접 이용할 수 있는 만큼의 경제성을 확보하지 못하여 자연계로 최종 배출되는 에너지원을 말하며, 국가별 기술 수준 및 활용 여건에 따라 미활용에너지의 범위에는 차이가 있다. 국내에서의 미활용에너지는 크게 온도차에너지(Temperature difference energy) 및 도시배열에너지(Urban energy of waste heat)로 구분되고 있으며[1], 특히 온도차에너지 중 해수 표

1) Ph. D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University
2) Master, Department of Civil Engineering, Inha University
3) Director, BESICO
4) Professor, Department of Civil Engineering, Inha University
***Corresponding author:** sookim@inha.ac.kr
Tel: +82-32-860-7572 Fax: +82-32-876-9787

층수의 수열에너지가 신재생에너지원으로 확대 지정되면서 그 외 수열에너지의 활용성에 대해서도 관심이 증대되고 있다.

수열에너지는 하천수, 하수, 해수 등의 물과 대기 온도와의 온도차를 히트펌프를 이용하여 냉방시 건물의 열을 물을 통해 방출하고 난방시 물에서 열을 얻어 건물 안으로 공급하는 원리로 운영되고 있다. 국내에서는 하수열의 경우 1, 2차 석유파동 이후 1980년대부터 에너지 절약의 중요성이 고조되어 관련 연구가 활발하게 진행되어왔다. 1990년대 후반에 들어서는 본격적으로 하수처리장을 대상으로 시범적 운영을 시행하는 등 연구가 지속되어 왔다. 반면에 하천수열 활용성 검토를 위한 연구 사례는 매우 미흡한 편이다.

국내에서는 한국수자원공사(K-water)에서 원수관로와 댐 호소수를 활용한 냉난방시스템을 설치하여 운영하고 있다[2]. 하지만 이는 댐 호소수가 원수관로를 통해 이동하는 중 수열에너지를 활용하는 것으로 한국수자원공사의 사업장에 국한되어 활용이 가능하며, 전국 하천을 대상으로 수열에너지 활용성 검토 연구의 범위 확장이 필요하다고 볼 수 있다. 선행 연구인 국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (1) 허가 기준유량 산정 및 취수 가능지역 설정[3]에서는 하천 유량 및 수요처 조건을 고려하여 하천수 수열에너지의 활용성을 평가한 바 있다. 하지만 실제 활용을 위해서는 회귀수의 수온이 하천의 수생태계에 미치는 영향을 비롯하여 이와 관련한 제한 조건에 대하여 추가적인 검토 연구의 필요성이 있음을 제언하였다.

실제로 수온은 하천의 생물에 가장 중요한 요소로 수온의 영향과 관련한 연구는 기존에 광범위하게 진행되어 왔으며 중요하게 다루어지고 있다[4~7]. 하천수 히트펌프 활용 후 방출되는 회귀수는 하천의 흐름에 따라 하류구간까지 수온에 영향을 미치게 되므로 환경적 영향의 검토가 필요하다. 열수 방출로 인한 수온의 변화가 하천에 미치는 영향 범위를 산정하기 위한 연구로는 실측, 수치모의 연구 혹은 수리·수질 모형을 통한 연구가 국내외로 이루어져왔다. 이와 같은 연구는 주로 기후변화에 따른 수온의 변화의 영향을 평가하거나 온천수 또는 폐수인 온방류수의 배출에 따른 수온 변화의 영향을 검토하는 연구이다[4,8~11]. 한국에너지기술연구원(2005)에서는 하천수 재사용가능 지점을 고려한 이용가능량을 추정하기 위해 수온회복거리를 산정하였다[12].

본 연구에서는 국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (1) 허가 기준유량 산정 및 취수 가능지역 설정[3] 연구 결과와 더불어 국내 하천을 대상으로 미활용에너지인 하천수의 수열에너지 활용을 위해 환경적 타당성 검토를 통해 국내 하천에 대한 하천수의 수열에너지 활용성을 종합적으로 평가하고자 한다. 이를 위해 히트펌프 방류수의 하천 수온변화 영향을 고려한 '수온회복거리'를 산정하여 환경적 타당성을 검토하였다. 또한 하천수 활용시 기술적 고려사항 및 이해관계자 수용성에 대해 검토하여 하천수의 수열에너지 국내 적용 가능성을 종합적으로 분석하였다.

2. 회귀수의 수온이 수생태계에 미치는 영향 평가 및 수온회복거리 산정

2.1 수온변화가 수생태계에 미치는 영향 평가 및 멸종위기종에 대한 검토

1) 수온변화가 수생태계에 미치는 영향 평가

하천수를 이용하기 위해서는 유량이 충분해야 하며 인근에 수요처 조건이 적합해야 한다. 또한 하천수 이용 후 방류되는 회귀수가 하천 수온에 미치는 영향에 대해서도 검토해야 한다. 회귀수에 의해 변화되는 수온이 수생태계, 특히 어류종에 영향을 미치기 때문이다. 수온은 하천환경에서 생활하는 모든 생물에게 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이며, 특히 어류 및 저서성 대형무척추동물의 경우, 수온변화에 의해 군집 구조가 변화될 수 있어 유의해야 한다[4]. 또한 수온이 상승할 때 온수성 생물은 성장이 촉진되나 냉수성 생물의 경우 서식 범위가 좁아지게 되는데, 국내 담수 냉수어종의 경우 주로 상류의 수질 좋은 환경에 서식하는 고유종이 많고 개체수가 많지 않아 보호종으로 분류되고 있다. 따라서 수온 상승시 온수성 특정 어종의 성장이 급격히 증가하게 되어 생태계의 균형이 깨지게 되고 수생생물의 재분포로 나타나게 된다[5].

본 연구에서는 수온이 수생태계에 미치는 영향을 정량적으로 확인하기 위해서 이와 관련하여 수행된 연구의 결과를 문헌조사를 통해 검토하였다. 먼저 수생태계에서 민감

한 것으로 알려진 금강모치를 대상으로 기후변화로 인한 수온 변화가 평창강 금강모치의 생태서식 환경에 미치는 영향에 대해 평가한 연구의 결과를 검토하였다.

연구 결과에 따르면, 2071-2100년의 미래에 수온이 상승하면 서식처가 점차 감소하는 것으로 나타났으며 금강모치가 극히 일부구간(0.2%)에서만 서식 가능한 것으로 분석되었다[6]. 또한 기후변화에 따른 수온 상승이 어류 서식처에 미치는 영향을 연구한 강형식 등(2013)[5]의 논문에서는 기존 수온보다 수온이 각각 0.69℃, 1.75℃, 2.31℃ 증가시 각 어종별로 어류서식처가 평균 21.9%, 36.3%, 51.4% 감소하는 것으로 분석되었다. 그 밖에도 한국환경정책·평가연구원(2014) 보고서 및 Daufresne et al.(2003)의 연구 결과에서 수온의 변화가 수생태계에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다[4,7]. 따라서 하천수에 의한 수열에너지를 얻기 위해서는 수열 히트펌프로부터 하천으로 방류되는 회귀수가 하천 수생태계에 미치는 영향에 대한 검토가 선행되어야 한다. 특히 냉방시에 배출되는 회귀수는 하천의 수온을 상승시키게 되는데 이러한 하천수의 수온 변화가 하천 구간내에서 어느 정도 범위까지 영향을 미치는지 확인할 필요가 있다.

2) 수온 변화에 따른 멸종위기종에 대한 검토

수온 변화로 인한 모든 수생태계에 미치는 영향을 최소화해야하지만 제도적으로 유의해야할 사항은 멸종위기 야생생물이 서식하는 구간에서는 수온 변화의 영향이 미치지 않도록 해야 하는 점이다. 여기서, 멸종위기 야생생물은 자연적으로 또는 인위적 위협요인으로 개체수가 크게 줄어들고 있거나 현재의 위협 요인이 제거 또는 완화되지 아니할 경우 가까운 장래에 멸종위기에 처할 우려가 있는 야생생물로서 환경부장관이 정하는 종을 말한다. 국내의 멸종위기 야생생물 중 어류의 경우 현재 총 25종이 지정되어 있다.

본 연구에서는 국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (1) 허가 기준유량 산정 및 취수 가능지역 설정[3]의 결과를 근거하여 국내 하천수 사용이 가능한 구간을 대상으로 멸종위기 야생생물종이 서식 유무를 검토하였다. Fig. 1을 보면 한강권역의 대상 구간에서는 남한강하류 중 권역 양평수위표 관측지점에 묵납자루, 한강서울 중권역의 중랑천합류전 관측지점에서 가는물고기(Pseudopungtungia tenuicorpa), 묵납자루(Acheilognathus signifer)가 서식하는 것으로 나타났다. 낙동강권역에는 흰수마자(Gobiobotia naktongensis Mori) 및 백조어(Culter brevicauda)가 서식하고 있으며, 영산강 및 섬진강권역에는 다묵장어(Lethenteron reissneri) 및 임실납자루(Acheilognathus somjinensis)가 서식하는 것으로 나타났다.

분포하고 있는 멸종위기종의 서식환경을 살펴보면 묵납자루의 경우, 수환경에 민감한 편으로 산란숙주조개의 서식지가 급격히 교란되고 감소하고 있다. 그리고 약 22℃에서 수정 및 부화하고 최대내성온도는 28℃로 연구된바 있다.

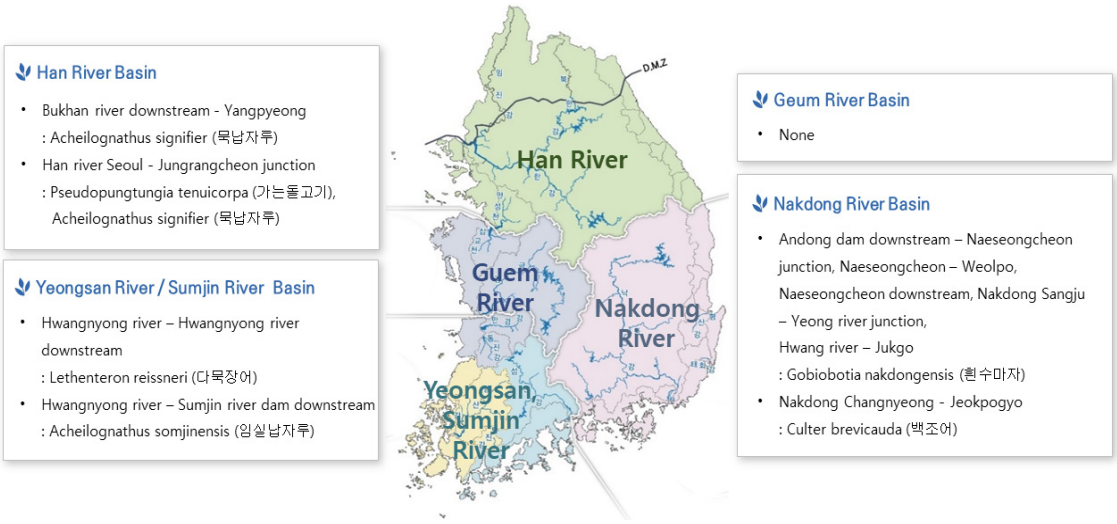

Fig. 1. Distributions of endangered fish species

가는돌고기의 경우, 하천 상류 맑은 여울의 큰 돌이 깔린 지역에 제한적으로 서식하며 최대내성온도는 28℃로 조사되었다. 흰수마자는 모래로 된 여울지역에 서식하는 저서성 소형 어류이며 최대내성 온도는 23℃로 연구되었다[13,14]. 백조어는 수질오염 등으로 인해 서식지가 심각하게 훼손되어 현재 낙동강 일부 수역에서만 서식하고 있다. 다묵장어의 경우도 최근 서식지가 급속히 감소하고 조각화되는 경향을 보이고 있다. 임실납자루의 경우는 섬진강에 제한적으로 서식하는 잉어과의 소형 어류이며 수온 25℃에서 수정 및 부화하는 것으로 알려져 있다[13,15].

2.2 회귀수의 수온회복거리 산정

하천수를 히트펌프에 사용한 후 다시 하천으로 방류하는 회귀수는 원래 하천수의 수온보다 온도가 상승하게 된다. 따라서 어느 정도의 온도로 회귀수가 상승하였는지 그리고 상승한 수온은 얼마만큼 하류로 흘러가서 원래 하천수의 수온으로 회복되는지를 산정할 필요가 있다. 그 회복거리를 알아야 수온 상승에 따른 수생태계의 영향이 어느 정도 될 것인지를 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

1) 회귀수의 수온회복거리 산정방법

하천수를 수열에너지로 사용한 후 방류한 하천 회귀수는 기존 하천수와의 수온 차이가 하천에 미치는 영향 범위를 도출하기 위해 본 연구에서는 유입지점으로부터 거리에 따른 해당 하천의 수온 변화를 산정하였다. 본 연구에서는 방류수가 수온에 영향을 미치는 구간, 즉 변화된 수온이 본래 수온으로 회복되는데 소요되는 거리를 '수온회복거리'라고 명칭하였다.

회귀수와 같은 열수가 하천내로 유입되어 미치는 영향을 예측하기 위해서는 수온 모의가 가능한 수리·수질모형을 통하여 어떠한 경향으로 진행되는지 모의할 수 있다. 하지만 모형 모의를 위해서는 많은 종류의 입력변수 자료가 필요하며 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 본 연구의 목적은 수온의 분포양상을 모의하는 것이 아닌 환경적으로 수열에너지를 활용하기 위해 수온이 회복되는데 필요한 수온회복거리를 산정하는 데 있다. 또한 하천수 수열에너지의 활용에 앞서 활용의 타당성을 검토하는 단계에서 이루어지는 연구로 실제 모의를 위한 자료를 수집이 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 보다 간편하게 수온 영향범위를 산정할 수 있는 Edinger et al.(1974), 황병기(2002) 등에 의해 연구 2및 적용되었던 물질수지식을 이용하여 수온회복거리를 산정하였다[8,16].

Edinger et al.(1974)은 열전달과 관련하여 연구를 수행하였으며 평형온도의 개념을 제시하였다[16]. 서일원 등(2016)은 2차원 유한요소 모형을 통해 도출된 수치해와 물질수지식을 통해 산정된 해석해를 비교하였다[17]. 비교 결과 수치해와 해석해가 수온이 증가 또는 감소하면서 약간의 오차가 발생하지만 모의구간의 하류부로 갈수록 일치함을 나타내어 물질수지식의 적용성을 검증하였다. 또한 한국에너지기술연구원(2005) 보고서에서는 동일한 방법으로 상류의 물 온도로부터 평형온도까지 거리를 분석하였다. 그 결과 수량이 적은 하천은 1~4km 범위에서, 수량이 풍부한 하천은 10km 내외에서 평형온도로 회복되는 것으로 나타나 합리적인 결과를 도출하였다[12].

수온변화 산정을 위한 물질수지식은 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 수온은 공기와 물의 표면을 통한 열의 변화와 수층을 통한 열의 계속적인 분산에 의하여 변화하게 된다. 이 때 방류수가 하천으로 유입되어 완전 혼합하는 것으로 가정하면 열 유입으로 인해 혼합 후 즉시 수온이 증가될 것으로 가정할 수 있다. 또한 정상상태 하에서 기후적 또는 환경적 변화가 없다고 가정한다면 온도에 대하여 다음 식 (2)로 나타낼 수 있다[8].

$$U\frac{dT}{dx}=-\frac{K}{\rho c_p H}(T-T_b)=-K_R(T-T_b) \quad (1)$$

여기서, T=평균수온(℃), T_b=열 유입을 받기 직전의 하천 수온(℃), K=평균열교환계수($W/m^2\cdot$℃), ρ=물의 밀도(kg/m^3), c_p=물의 비열($J/kg\cdot K$), H=수심(m), K_R=총교환계수(s^{-1}), x=수온회복거리(m), U=유속(m/s)이다. 유입지점에서의 경계조건은 $T=T_0$ 이며, T_0는 하천수와 열수와 혼합된 후의 온도이다. 이 식의 해를 구하여 거리에 따른 하천의 수온 변화를 산출할 수 있다[18].

$$T=(T_0-T_b)\exp(-K_R\frac{x}{U})+T_b \ [℃] \quad (2)$$

Table 1. Average heat exchange coefficient according to heat exchange type

class		water-water	water-air
range of average heat exchange coefficient (K) [$W/m^2\cdot℃$]	natural convection	139.47-337.04	5.81-17.43
	forced convection	848.42-1696.84	11.62-58.11

Source: Spirax Sarco (2005)
http://www.spiraxsarco.com/global/kr/News/Documents/A-3-4.pdf

열교환기는 다른 온도의 두 물질 간의 열전달을 유용하게 하는 장치이며[19], 열을 전달하는 형태 및 대류 형태에 따라 평균열교환계수(K)는 다음 Table 1과 같다. 총열교환계수(K_R)는 물의 밀도(ρ), 물의 비열(C), 수심(H) 조건에 따라 다음 식 (3)에 적용하여 산정할 수 있다.

$$K_R = \frac{K}{\rho c_p H} \quad [s^{-1}] \tag{3}$$

- 물의 밀도(ρ) : 998.2 kg/m^3
- 물의 비열(C) : 4.184 $J/kg\cdot℃$

2) 회귀수의 수온회복거리 산정

국내 하천의 특성에 따라 방류수 유입에 의해 발생하는 온도 변화의 영향범위를 산정하기 위해 유입지점으로부터 떨어진 거리에 따라 발생하는 수온변화를 산정하였다. '국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (1) 허가 기준 유량 산정 및 취수 가능지역 설정'[3] 결과 하천수 사용허가가 가능하며 멸종위기종이 서식하고 있는 구간을 대상으로 방류수의 유입 후 거리에 따른 수온변화를 분석하였다. 먼저 한강수계의 양평수위표 및 중랑천합류전 구간에 대하여 수온회복거리를 산정하였다. 적용된 하천에 대한 특성 및 열교환계수는 다음 Table 2, Table 3과 같다. 여기서, 평균열교환계수는 물-물 열교환 형태가 자연대류를 통해 열전달할 때의 값의 범위인 139-337.04 $W/m^2\cdot℃$ (120-290 $kcal/m^2\cdot h\cdot℃$)을 적용하였다.

한강권역에서는 양평수위표 및 중랑천합류전 유역에 멸종위기종인 묵납자루와 가는돌고기가 서식하고 있는 것으로 앞서 조사되었다. 히트펌프 방류수의 통상적인 온도차

Table 2. Temperature variation with distance from inflow point (Yangpyeong staff gauge)

class	water temperature	density (ρ)	specific heat (C)	water depth (H)	range of average heat exchange coefficient (K)	range of total heat exchange coefficient (K_R)
	℃	$kg/℃$	$J/kg\cdot K$	m	$W/m^2\cdot℃$	s^{-1}
Gangsang	15.7	998.2	15.3	5.6	139.47-337.04	0.0016-0.0040
Satan-cheon	18.9					
Seongdeok-cheon	18.1					

Table 3. Temperature variation with distance from inflow point (Jungrangcheon junction)

class	water temperature	density (ρ)	specific heat (C)	water depth (H)	range of average heat exchange coefficient (K)	range of total heat exchange coefficient (K_R)
	℃	$kg/℃$	$J/kg\cdot K$	m	$W/m^2\cdot℃$	s^{-1}
Guri	14.1	998.2	15.3	0.86	139.47-337.04	0.0106-0.0257
Guui	14.7					
Amsa	14.3					

5℃인 방류수가 유입되었을 때 유속 1m/s 상에서의 수온회복거리를 산정하였다. 수온회복거리는 열교환계수 범위에 따라 양평수위표에서 1.22~2.95km, 중랑천합류전 구간에서 188~454m로 산정되었다. 이는 유입된 하천수가 수온회복거리만큼 흘러갔을 때 원래의 하천 수온을 회복하는 것을 의미하며, 멸종위기종의 서식처 보호를 위해 해당 구간에서 수온회복거리를 고려하여 상류부까지 하천수의 수열에너지 활용이 불가능하다.

이 외에 금강권역에서는 서식하는 멸종위기종이 없으므로 수온 변화가 크지 않은 선에서 활용이 가능하나 수요처가 존재하는지 검토가 필요하다. 영산강/낙동강/섬진강권역에는 각각 멸종위기종인 다묵장어, 입실납자루 및 흰수마자, 백조어가 서식하고 있으나, 허용가능유량 및 수요처 조건이 부적합하기 때문에 하천수 수열에너지를 활용하기 어려울 것으로 판단된다.

정리하면 대상 권역에서 수열에너지 이용 후 방류수로 인한 하천수의 수온 변화를 검토한 결과, 멸종위기종이 서식하고 있는 유역의 상류 0.19~2.95km 구간까지 하천수

수열에너지 활용이 불가능한 것으로 판단되었다. 실제 수열에너지의 활용을 위해서는 수심 및 유속 등 실제 하천의 특성 및 방류량, 수온 조건을 면밀히 검토하여 분석해야하며, 분석 및 적용을 위한 규정이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

3. 하천수의 수열에너지 활용을 위한 기술적 측면과 이해관계자 수용성 검토

3.1 하천수의 수열에너지 활용을 위한 기술적 측면에 대한 논의

하천수를 히트펌프의 열원으로 사용하기 위해서는 기술적 측면에서 활용성을 검토할 필요가 있으며, 특히 하천수가 히트펌프 유니트의 열교환기에 미치는 영향에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 하천수 수열에너지 이용을 위해 기술적 고려사항을 검토해보고 관리 대책을 제안하였다.

하천수 취수시 하천수에 포함된 이물질의 양이나 수질은 계절에 따라서 변동한다. 하절기 폭우가 발생하는 경우 수질이 급격히 나빠지고 하천수에 포함된 이물질의 양이 크게 증가한다. 이 때에 하천수를 히트펌프로 공급하는 배관에서 모래, 진흙 등 이물질이 퇴적되어 배관에서 하천수의 유동을 방해하게 되고, 심한 경우 배관을 완전히 차단하기도 한다. 또한 하천수에 포함된 일부 금속 성분은 배관 내부에 증착되기 쉬운 특성을 지니고 있어 시간이 경과하며 스케일이 성장하게 된다. 이러한 수질에 관한 특성은 지역별로 차이가 심하므로, 하천수의 수질이 스케일을 발생할 수 있는 경우에는 유의해야 하며 이를 관리할 수 있는 체계를 갖추어야 한다.

한편 히트펌프 유니트의 열교환기는 하천수 배관에 비하여 아주 미세한 틈의 조합으로 구성되어 있다. 이러한 열교환기의 미세한 틈은 이물질이나 스케일에 취약하다. 스케일이 일정 규모이상으로 성장하면 열교환기에 충분한 유량이 공급되지 못하게 되어 히트펌프의 성능과 수명에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제로 히트펌프 유니트의 가동을 중단하고 문제를 해결하거나, 심각한 경우에는 부품을 교체해야 하는 경우도 발생한다.

방지할 수 있는 관리 대책으로는 취수시설을 거쳐서 히트펌프로 유입되는 하천수의 이물질을 제거해야 하며, 폭우나 홍수 발생으로 취수시설에서 이물질이 제거되지 못하는 경우 하천수 공급을 중단해야 한다. 또한 하천수 수질의 변동이 큰 경우 배관이나 열교환기에 스케일을 발생시킬 수 있는 성분을 관리하기 위하여 주기적인 수질 검사를 수행해야 한다. 마지막으로 하천수 공급 및 방류 배관 그리고 히트펌프 유니트의 열교환기에 대하여 스케일이 과다하게 성장하여 히트펌프 유니트의 운전에 영향을 주지 않도록 관리하는 것이 필요하다. 이를 위하여 배관 및 열교환기에 대한 주기적인 청소가 필요하며, 내부에 전문적인 인력을 보유하지 못하고 있는 경우에는 외부 전문기업에 의뢰하여 청소 또는 세정 작업의 수행이 필요하다. 수질 검사와 세정 작업은 초기에는 더 자주 수행하는 것이 필요하고, 데이터가 누적되면 주기를 적절하게 조정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2 하천수를 이용한 열 이용 이해관계자 수용성 검토

3.2.1 열 이용 관련 이해관계자 수용성 검토

하천수의 수열에너지 활용시 관련한 이해관계자는 매우 다양하다. 지열히트펌프의 경우 대부분 자체 부지 내에서 공사 및 운영이 이루어지므로 주변의 이해관계자에 미치는 영향이 상대적으로 적다. 반면에 하천수 히트펌프의 경우 취수 및 방류 시설의 설치가 자체 부지에서 이루어지지 않으므로 인허가가 복잡하다. 또한 지표수의 열 이용은 수생태계에 영향을 미치므로 이에 대한 검토가 필요하다. 하천수 방류시 방류지역 인근은 상승한 수온을 가진 하천 회귀수로 인해 하천수 온도에 영향이 있을 것으로 예상되며, 특히 냉방운전을 수행시 하천 방류수의 온도가 상승하게 되므로 환경단체 및 하류 주민의 하천 생태계에 대한 우려가 크게 증가할 것으로 예상된다. 냉난방 운전시 관련 이해관계자에 관하여 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다.

열 이용 관련 이해관계자를 정리하면 크게 국가기관 또는 지자체, 환경단체 및 주민, 하천수 열이용자 또는 희망자로 나누어 볼 수 있다. 국가기관 또는 지자체의 경우 하천수 사용을 위한 시설 설치를 위해 국유지 점용 허가와 관련한 협의가 필요하다. 환경단체 및 주민의 경우 수온 변화

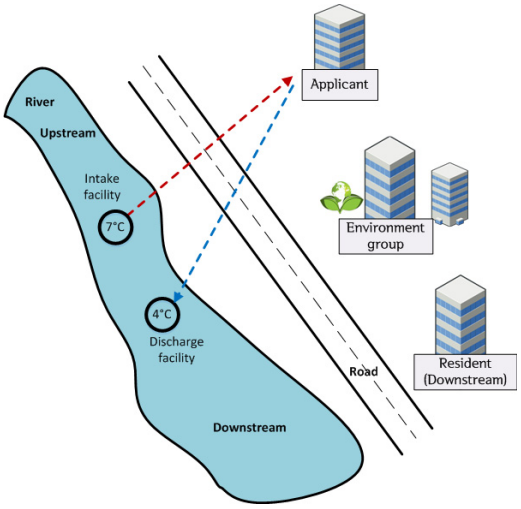

Fig. 2. Stakeholders on heat pump for heating system

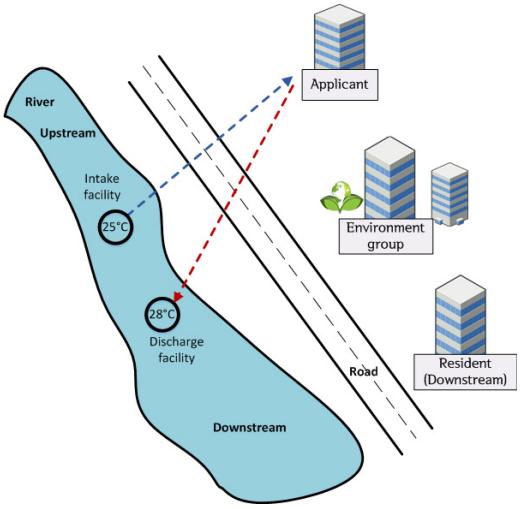

Fig. 3. Stakeholders on heat pump for cooling system

에 따른 어종 변화 혹은 녹조 발생 등 수생태계에 미치는 환경적 영향에 대해 협의가 필요하다. 하천수 기존 및 미래 이용자의 경우에는 제한된 하천수 사용량을 배분하기 위한 적절한 중재가 필요하다. 열 이용 관련 이해관계자 및 각 이해관계자의 이해관계 내용에 대해 정리하면 다음 Table 4와 같다.

3.2.2 열 이용 산업의 이해관계자 수용성 검토

열 이용 산업의 이해관계자의 경우 대표적으로 열 이용 설비 제조업체, 열 이용 시설 설계 및 시공업체, 열 이용 설비 운영업체 있다. 또한 그 이외에도 취수 및 방류 시설 관련 제조업체 및 시공업체가 영향을 받을 수 있다. 하천수

Table 4. Stakeholders and their interests

Stakeholders	Interests
national institutions and municipalities	• Authorisation of water intake, discharge and transport • Restrictions and Discontinuation Rights (permit period) • Review of fees for facility use and heat utilization
environmental groups and downstream residents	• Effect of river ecosystem on the utilization of surface water heat
surface water heat demanders	• Distribution of maximum amount • Effect on the future surface water heat demanders
surface water heat existing user	• Additional permission required if extension is required • Aborting or limiting use due to worsening river water quality • Monitoring of surface water heat use

열 이용이 증가하면 기존의 수열원 히트펌프 유닛과 열교환기 등 관련 생산 설비를 그대로 사용하는 경우가 많을 것으로 예상되므로 기존 관련 설비 제조업체에 대하여 매출이 증가하는 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 열 이용 시설의 설계 및 시공은 기존 지열이나 수열원 설비와 유사하므로 관련 기존 업체의 매출에 영향을 미치게 된다. 설비 운영에 있어서는 열 이용 설비가 설치된 시설의 기존 운영업체에 매출이나 고용이 증가할 것으로 예상된다. 또한 취수 시설이 필요시에는 펌핑 스테이션과 더불어 방류 시설이 필요하다. 이 때 취수 지점에서 열 이용 시설이 설치되는 장소와 거리가 먼 경우에는 취수 시설관련 비용이 상당히 증가할 것으로 예상된다.

이와 같은 이해관계자의 수용성을 고려하여 하천수 히트펌프를 도입하기 위해서는 생태계에 미치는 영향을 최소화하거나 영향을 방지할 방안의 제시가 필요하다. 또한 기존의 하천수 이용자 및 향후의 미래 이용자에게 미치는 영향을 모두 고려하는 것이 중요하다. 또한 하천수 열 이용 잠재량에는 제한이 있기에 동일한 지역에서 하천수의 사용 희망자가 많은 경우에 배분이 필요할 수 있다. 한 사용자가 하천수의 열을 많이 사용하는 경우 인근 지역에서 다른 이용자의 열 이용권을 박탈하게 되는 것이 될 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다. 따라서 이러한 문제를 원만하게

협의하고 처리할 수 있는 규정 및 중재자가 필요할 것으로 예상된다. 또한 하천수 사용을 허가하는 경우에 이용요금 또는 허가기간에 대한 검토가 필요하고, 사용자에 대한 모니터링 및 규칙 불이행으로 인한 허가 규제 등에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다[20].

4. 결 론

본 연구에서는 미활용에너지인 하천수 수열에너지의 환경적 타당성, 기술적 측면에 대한 논의, 이해관계자 수용성 검토를 통해 국내 하천의 하천수 수열에너지의 활용성 및 타당성을 검토하였다. 기존 연구에서 하천수 열원에 대한 사용 허가기준유량 확보 안정성을 검토한 결과를 토대로 수열에너지원으로 활용하기 위해 허가가 가능한 유량이 존재하는 하천 구간을 대상으로 환경적 타당성을 검토하였다. 먼저 대상 구간에 대해 멸종위기종의 서식여부를 조사하고 서식 구간에 대하여 하천수 히트펌프로부터 방류되는 회귀수가 하천으로 유입될 때 거리에 따른 수온변화를 분석하였다. 온도가 상승한 회귀수의 수온이 회복되는 거리인 '수온회복거리'를 산정하여 환경적 타당성을 검토하였다. 또한 하천수 활용시 기술적 고려사항 및 이해관계자 수용성에 대해 검토하여 하천수 수열에너지의 국내 적용 가능성을 종합적으로 분석하였다.

대상 구간에 대해 물질수지 식을 통해 수열에너지 이용 후, 하천으로 방류되는 회귀수의 수온회복거리를 산정한 결과, 멸종위기종이 서식하고 있는 유역의 상류 0.19~2.95km 구간까지 하천수 수열에너지 활용이 불가능한 것으로 판단되었다. 본 분석의 목적은 수온 변화 영향으로부터 멸종위기종의 서식처를 보호하고자 하는 것이므로 수온 변화 영향이 실제보다 더 크게 산정되도록 조건을 가정하여 활용성 측면에서는 다소 보수적으로 계산되었을 수 있다. 또한 본 연구는 전반적인 활용성을 평가하기 위한 것으로 편의를 위해 수심 및 유속이 구간 내에서 일정하다고 가정하였다. 따라서 정확한 영향 범위를 예측하기 위해서는 실제 하천의 수심 및 유속 등을 측정하여 각 하천 구간의 특성을 반영해야 할 것이다. 또한 국내 하천의 경우 유량변동이 크고 동절기에 동결 발생 가능성이 높아 실제 하천수 수열에너지 활용을 위한 취수를 위해서는 추가적인 기술적 분석이 필요하다. 마지막으로 하천수 열 이용을 위하여 인허가 및 다양한 이해관계자와 사전협의가 필요하므로 하천수 수열에너지의 활용을 위해서는 이에 대한 상세한 검토를 통한 수용성 확보가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 산업통상자원부 소관 전력정보화 및 정책지원 사업(2016PP14)과 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1A2B3005695).

References

[1] Korea Institute of Energy Research, 2007, "A Survey of Unutilized Energy Resources", MOTIE, 1-311.

[2] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2016, "Research on the status of new and renewable energy in Korea and abroad", Ministry of Trade, Industry and Energy [Korean literature].

[3] Jung, J.W., Nam, J.S., Jung, S.E., Kim, J.W., Kim, H.S., 2018, "Feasibility Study on the Use of River Water Hydrothermal Energy in Korea : (1) Estimation of the Permitted Standard Discharge and Determination of the Potential Water Intake Area", New & Renewable Energy, 14(4), 27-37.

[4] Korea Environment Institute, 2014, "Study on water ecosystem impact and proper management plan of river water discharge water temperature", Ministry of Environment [Korean literature].

[5] Gang, H.S., Im, D.G., Jeong, S.H., Kim, G.H., 2013, "Habitat compatibility criteria and physical habitat interpretation of river fishes", Water for future, Korea Water Resources Association, 41(9), 47-61 [Korean literature].

[6] Kim, S.K., Noh, H.S., Hong, S.J., Kwak, J.W., Kim, H.S., 2013, "Impact of Climate Change on Habitat of the Rhynchocypris Kumgangensis in Pyungchang River",

Journal of Wetlands, 15(2), 271-280.

[7] Daufresne, M., Roger M.C., Capra, H.N., Lamouroux, 2003, "Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhone River: effects of climate factors", Global Change Biology, 10, 124-140.

[8] Hwang, B.G., 2002, "Predicting Impacts of Heat Sources from Hot Spring at Gimcheon to Receiving Water", Journal of industrial science research, 12(0), 1-18.

[9] Park, J.C., Yoon, J.H., Jung, Y.M., Son, J.Y., Song, Y.I., 2012, "Simulation of Water Temperature in the Downstream According to Withdrawal Types of Dam using EFDC Model", Journal of Environmental Impact Assessment, 21(5), 715-724.

[10] Khangaonkar, T., Yang, Z., DeGasperi, C., Marshall, K., 2005, "Modeling Hydrothermal Response of a Reservoir to Modifications at a High-Head Dam", Water International, 30(3), 378-388.

[11] National Institute of Environmental Research, 2012, "A Three Dimensional Modeling Study to Estimate the Effect of Multi-Purpose Weirs on the Thermal Dynamics in the Nakdong River, Korea", Water Qaulity Controal Center Water Environment Research Department.

[12] Korea Institute of Energy Research, 2005, "The Optimization of a Demonstration Network Plant Using Unutilized Energy Resources", Ministry of Science and Technology.

[13] National Institute of Biological Resources, 2011, "Red Data Book of Endangered Fishes in Korea", National Institute of Biological Resources.

[14] Chung, N.I., Park, B.K., Kim, K.H., 2011, "Potential Effect of Increased Water Temperature on Fish Habitats in Han River Watershed", Journal of Korean Society on Water Environment, 27(3), 314-321.

[15] Ko, M.H., Lee, I.R., Bang, I.C., 2013, "Egg Development and Early Life History of Endangered Species Gobiobtia naktongensis (pisces: Cypri nidae)", KOREAN JOURNAL OF ICHTHYOLOGY, 25(1), 9-16.

[16] Edinger, J.E., Brady, D.K., Geyer, J.C., 1974, "Heat Exchange and Transport in the Environment", 14, United States.

[17] Seo, I.W., Choi, H.J., Song, C.G., 2011, "Horizontal 2-D finite element model for analysis of mixing transport of heat pollutant", KSCE Journal of Civil Engineering, 31(6B), 507-514.

[18] Prats, J., Val., R., Dolz, J., Armengol, J., 2011, "Water temperature modeling in the Lower Ebro River(Spain): Heat fluxes, equilibrium temperature, and magnitude of alteration caused by reservoirs and thermal effluent", Water resources research, 48, 1-15.

[19] Lee, W.H., 2015, Chapter 10: Heat exchanger, Heat transfer 15th week lecture, Chungnam national university.

[20] Korea Energy Economics Institute, 2017, Research strategy for achieving the goal of supplying renewable energy, MOTIE.