



국내 하천수의 수열에너지 활용 가능성 분석 : (1) 허가 기준유량 산정 및 취수 가능지역 설정

정재원¹⁾ · 남지수²⁾ · 정성은³⁾ · 김정욱⁴⁾ · 김형수⁵⁾*

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

Jaewon Jung¹⁾ · Jisu Nam²⁾ · Sungeun Jung³⁾ · Jungwook Kim⁴⁾ · Hung Soo Kim⁵⁾*

Received 8 October 2018 Revised 7 November 2018 Accepted 13 December 2018

ABSTRACT In recent years, there has been continued interest in the utilization of river discharge as a new energy source. Before this can be achieved, it is essential to examine the stability of the flow rate. In Korea, however, there are no guidelines for calculating the water availability of river water. Therefore, this paper proposes a method of estimating the water availability of river water based on the permissible standard flow rate according to the permission system of river water in Korea, and the amount of domestic river water available is estimated. In addition, the area where sufficient hydrothermal energy can be taken is analyzed considering the heat pump installation conditions of the river water. These results can be utilized as an indicator for evaluating river water hydrothermal energy as an alternative to fossil fuels and the contribution of river water to greenhouse gas reduction.

Key words Unutilized energy(미활용에너지), River water hydrothermal energy(하천수 수열에너지), Energy reserve(에너지 부존량), Permissible standard flow(허가 기준유량)

1. 서론

현재 우리나라는 2030년까지 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 37% 감축을 목표로 신재생에너지 비율을 20%까지 높

이고자 하고 있다. 이에 기존 화석연료 및 원전을 축소하고 국가 전력 및 에너지 공급 공백을 채우기 위한 지열·태양열·수열 등의 에너지 활용이 필요하다. 특히 해수 표층수의 수열에너지가 신재생에너지원으로 확대 지정됨에 따라 하천수 수열에너지 역시 신재생에너지원으로서의 타당성 검토에 대한 논의가 지속되고 있다. 이를 위해 국내의 하천 환경 특성을 고려한 면밀한 분석 연구가 선행되어야 하며 특히 우선적으로 하천수의 양인 유량의 안정성을 검토해볼 필요가 있다.

하천수 수열에너지의 부존량 산정과 관련된 연구사례를 살펴보면, 국외에서는 일본 신에너지재단(NEDO)의 미활용에너지 활용 매뉴얼이 미활용에너지 부존량의 공식

1) Ph. D. candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

2) Master, Department of Civil Engineering, Inha University

3) CEO, Department of Civil Engineering, Inha University

4) Ph. D. candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

5) Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

*Corresponding author: sookim@inha.ac.kr

Tel: +82-32-860-7572

+82-32-876-9787

을 정의하고 있다.^[1] 일본 가스협회에서는 미활용에너지 부존량 계산조건으로 하천유량 Q의 월평균유량을 사용하였으며 이용 온도차는 5°C로 일정하다고 하였다.^[2] 영국 Strathclyde 공과대학 Lyden(2015)은 지역난방을 위한 히트펌프 열원으로써 Clyde 하천수를 열원으로 활용하고 있는 Glasgow 지역을 대상으로 하천수 열원의 타당성을 검토하였다. 연구 내용을 살펴보면, 열역학 기본식을 이용하여 하천에 얻을 수 있는 열량을 산정한 것을 볼 수 있다.^[3] 영국 기후변화에너지부(DECC)(2015)에서는 Water source heat map을 생산하여 히트펌프 열원으로 가용한 물의 양을 산정하였으며 이용가능량의 경우, 하천 유량을 통계적으로 대표하는 유황곡선(Flow duration Curve)을 통해 90%에 해당하는 유량 Q90을 기준으로 산정하였다.^[4] 또한 수열원 히트펌프의 경우, 유량이 비소모적이고 전체 유량이 하천으로 회귀되는 것으로 인식하고 있어 추가 열을 추출하는 여러 번의 취수가 가능할 것으로 제시하였다.

국내의 연구사례를 살펴보면 한국에너지기술연구원(2005) 연구와 한국수자원공사(2010) 연구에서 일본 NEDO가 활용한 미활용에너지 활용 매뉴얼의 추산방법을 이용하여 전국의 국가하천 전체 유역에 대한 비유량으로 부존량을 분석하고, 수온회복거리를 적용하여 하천수의 재사용을 고려한 이용가능량을 제시하였다.^[5,6] 한국수자원공사(2014)에서는 하천수를 이용한 온도차냉난방 시스템의 경우, 전체 하천 유역 중 이용하고자 하는 장소에 대한 이용가능량 파악이 필요하다고 판단하였다. 또한 열역학 제1법칙을 이용하여 하절기, 동절기의 취수가능유량을 산정하였으며 이를 통해 하천수 이용가능량을 추정하였다.^[7]

기존 선행 연구를 보면, 일본 NEDO의 하천수 수열에너지 부존량 추산방법을 많이 활용한 것을 알 수 있다. 그러나 각 연구에서의 허가 기준유량을 산정하는 방법이 다르게 제시되어 있으며, 국내에는 아직 이에 대한 규정이 제시되지 않고 있어 실제 적용시에 혼란을 야기시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구 사례의 방법의 고찰을 통해 국내 제도에 맞는 하천수 에너지 부존량 산정방법을 제시하고, 실제 국내 하천을 대상으로 하천수 수열에너지 부존량 및 이용가능량을 산정하였다. 또한 하천수 유량이 적절한 구간을 대상으로 하천수 열원 히트펌프 설치 여건을 고려한 수열에너지 취수 가능 여부를 검토하였다.

2. 하천수 수열에너지의 개념 및 현황

2.1 수열에너지 개념

수열에너지란 대기온도보다 여름에는 낮고 겨울에는 높은 물의 온도차에너지로 히트펌프(heat pump)를 이용하여 활용하는 것을 말한다. 수열원으로는 하천수, 해수, 하수처리수(하수), 발전소 온배수, 지하수 등이 있으며 주로 냉방과 난방에 이용되고 있다.^[8~11] 수열에너지는 히트펌프를 통해 냉방시 건물의 열을 물을 통해 방출하고 난방시 물에서 열을 얻어 건물 안으로 공급하는 원리로 운영된다.

수열에너지 중 국내에서는 발전소 온배수 용도로 활용되는 해수 표층의 열이 신재생에너지원에 포함되고 있으며,^[12] 해수를 제외한 하천 또는 댐에 저류된 저수지의 수자원은 수열에너지의 범주에 해당되지 않는다.^[13]

2.2 하천수 수열에너지 활용현황

2.2.1 국외현황

유럽을 비롯한 미국, 일본 등에서는 1960년대부터 건물, 농업, 교육시설 등에 수열에너지를 사용해 왔다. 유럽의 경우 독일의 돌스텐 Lipe강, 영국의 도그랜드 테임즈강 등이 대표적인 하천수 수열에너지의 활용사례이며 이후에도 보급이 활발하게 지속되고 있다. 일본의 경우 대표적인 사업으로 스미다 강물을 활용하여 동경 하코자키 지구의 지역 냉난방에 공급하고 있으며, 나카노지마지구, 도야마역 북부지구, OAP지구 등 하천수 수열에너지를 근방 지역의 냉난방에 활용하고 있다.^[5,10] 그 외 미국 코만치 초등학교와 캐나다 토론토시에서는 상수도를 냉난방에 활용하고 있으며, 미국 코넬대학에서는 수심 76m에서 온도가 4~7°C되는 호소수를 이용하는 호수냉방시스템을 개발하였다. 또한 캐나다에서는 호수냉방시스템을 활용해 연중 60MW의 냉방에너지를 인근 지역에 공급하고 있다.^[8,14,15]

2.2.2 국내현황

국내에서는 K-water가 수열에너지 확대보급에 노력하고 있다. 2006년부터 주암댐 발전소 건물을 시작으로 전국 11개 사업장에 원수관로와 댐 호소수를 활용한 냉난방 시스템을 설치, 운영 중이다. 2014년 부터는 수도권광역상수도

원수관로를 이용해 제2롯데월드 냉난방 열원으로 팔당댐의 물을 공급하고 있다. 뿐만 아니라 소양강댐의 물을 이용하여 춘천 네이버 인터넷데이터센터(IDC) 서버에서 발생하는 열을 식히는 사업, 낙동강 하천수를 취수하여 히트펌프의 열원으로 부산 화훼단지의 소규모 비닐하우스에 열을 공급하는 연구 등 꾸준히 하천수 수열에너지에 대한 연구 및 보급이 지속되고 있다.

3. 하천수 수열에너지 활용성 검토

3.1 하천수 유량의 안정성 검토

3.1.1 하천수 사용허가 관련 규정 검토

1) 하천법

하천수 사용에 관하여 「하천법」 제49조에 따라 타인의 권리와 공공의 이익을 침해하지 않고, 물 관리에 지장이 없는 범위 안에서 모든 국민이 혜택을 고루 향유할 수 있게 하천수를 배분하도록 정하고 있다. 또한 하천수를 생활·공업·농업·환경개선·주운 등의 용도로 사용하기 위해서는 제50조에 따라 국토부장관의 허가를 받아야 한다. 하천수 사용허가 여부는 허가기준에 따라 결정되며 제32조의 규정에 따라 관계기관과의 협의결과도 이에 반영하도록 한다.

2) 하천수 사용허가 기준

홍수통제소는 하천수의 과부족을 물수지 분석을 통해 검토하게 되는데 분석 결과에 따라 가용유량이 있는 경우 취수지점 및 취수시설을 지정하여 허가하게 된다. 통상적으로 가용유량이 없는 경우, 기득하천사용자의 동의를 얻어 기득하천사용자의 허가량을 조정하게 되며, 가용유량도 없고, 기득하천사용자의 동의도 얻지 못한 경우에는 댐 사용권자와 댐용수 사용계약 체결을 하여야 한다. 이때 홍수통제소는 하천수 사용을 허가하고 댐 사용권자는 신규 수요자로부터 물 값을 지불받는다.

홍수통제소에서 하천수 사용을 허가하는 기준을 10년 주기 가장 가물었을 때 자연상태의 하천에 흐르는 유량인 기준갈수량으로 정하고 있다. 여기서 갈수량은 하천유량의 규모와 유량의 변동특성을 나타내는 기준 용어로 '1년 중 355일은 이보다 더 작지 않은 유량'을 뜻하는데 기준갈

수량은 갈수량 값 중 10년 빈도에 해당하는 갈수량을 의미한다.^[15]

3.1.2 허가 기준유량 확보 안정성 검토

본 논문에서는 현재 하천수 수열에너지 이용을 위한 취수 기준이 홍수통제소의 하천수 사용허가 기준을 따르고 있기 때문에 홍수통제소에서 제시하고 있는 하천수 사용허가 기준유량을 기준으로 허가 기준유량 확보의 안정성을 검토하였다.^[8]

홍수통제소에서는 하천수 사용과 관리를 위해 '하천수 사용 관리시스템'을 통해 하천수 사용 관련정보를 수집하고 관리하고 있다. 본 시스템에서는 표준유역별로 기준갈수량 및 허가 기준유량을 제시하고 있다. 여기서 허가 기준유량은 다음과 같이 계산한다.

$$(\text{허가 기준유량}) = (\text{기준갈수량}) - (\text{하천유지유량}) \quad (1)$$

(+) : 하천수 사용 가능, (-) : 하천수 사용 불가능

여기서 허가 기준유량이 양의 값을 갖는 경우 양적으로는 사용허가가 가능하며, 기준갈수량 값이 하천유지유량보다 작아서 허가 기준유량이 0보다 작은 경우 새로운 하천수 사용허가는 불가능하다.

한강수계 표준유역별 허가 기준유량을 검토한 결과, 남한강의 경우 상류구간은 허가 기준유량이 (-)값을 가지므로 현재 사용이 불가능한 상황이고 양평 수위관측지점 하류부터 팔당댐까지 구간에서 0.10-0.25m³/s의 허가 기준유량이 남아있다. 북한강의 경우 청평 수위관측지점에서 팔당댐까지 구간에서 허가 기준유량이 3.61-7.02m³/s이다. 한강 국가하천 구간의 경우 5.48-30.35m³/s 이나, 하류부의 경우 일반적으로 취수시설을 설치하기 어렵고 수요처가 없어 취수하기에 적절하지 않은 편이다(Fig. 1, Table 1).

낙동강수계의 표준유역별 허가 기준유량을 검토한 결과, 창녕합천보 유역과 신천합류후 - 밀양강합류 유역, 낙동강 하구언을 제외하고 허가 기준유량이 (-)값으로 나왔다. 가뭄이 지속되고 기허가량이 많기 때문에 현재 기준갈수량이 하천유지유량보다 상당량 적은 상황으로 허가 기준유량이 남은 구간에서도 추가적인 하천수 사용허가는 쉽지 않은 상

Table 1. The permissible standard flow (Han river basin)

River name / Mid-watershed	Standard basin name	10-year low flow (m ³ /s)	Instreamflow requirement (m ³ /s)	Permissible standard flow (m ³ /s)		
Nanhan river	Chungju dam downstream	Mokgye	23,1	-0,063		
		Ungyecheon junction		0,354		
		Sum river junction		0,782		
	Namhan river	Yeouju	30	32,5	-8,059	
		Yeouju weir			-4,764	
		Heukcheon junction			-7,112	
Yangpyeong		0,104				
Namhan river downstream	Namhan river downstream		0,245			
North Han river	Uiam Dam	Uiam Dam	24	-0,703		
		Gapyeong		-0,211		
		Cheonpyeong dam		0,787		
	Cheongpyeong dam	Cheonpyeong dam	28,3	32,442	7,021	
		Cheonpyeong dam downstream			3,605	
		North han river downstream			4,142	
Han river	Paldang dam	Paldang dam	61,2	6,135		
	Han river Seoul	Paldang dam downstream		67,702	6,502	
		Jungnangcheon junction		69,480	7,280	
		Han river bridge		71,832	8,332	
		Hongjecheon junction		68,977	5,477	
	Han river Goyang	Hangju-daegyo		71,499	63,5	7,999
		Gyeyangcheon junction		70,910		7,410
		Imjin river junction		72,604		9,104
	Han river downstream	Han river downstream		93,851		30,351

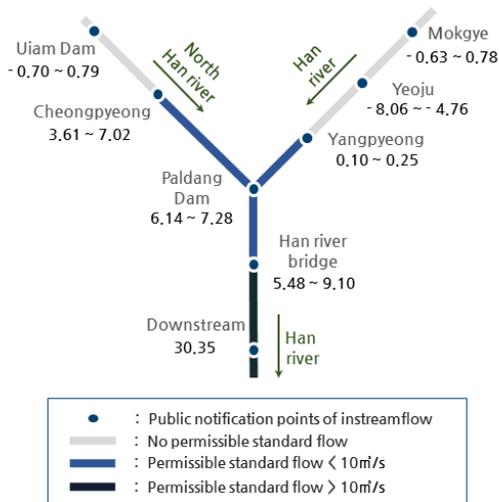


Fig. 1. The permissible standard flow (Han River Basin) [Unit: m³/s]

Table 2. The permissible standard flow (Nakdong river basin)

River name / Mid-watershed	Standard basin name	10-year low flow (m ³ /s)	Instreamflow requirement (m ³ /s)	Permissible standard flow (m ³ /s)	
Nakdong	Andong dam downstream	Naesung junction	11,361	20,8	-9,439
Naesung	Naesungcheon	Wolpo	3,125	8,5	-5,375
		Naesungcheon downstream	4,897	8,5	-3,603
Dong river	Nakdong Sangju	Yeong river junction	16,543	20,8	-4,257
		Sangju weir	19,108	29,3	-10,192
		Wicheon junction	21,361		-7,939
Wicheon	Wicheon	Yonggok	0,695	3,4	-2,705
		Wicheon	0,744		-2,656
Nakdong	Gumi weir	Nakdan	20,516	29,3	-8,784
Gam		Gamcheon	22,507	34,9	-12,393
Nakdong	Gangjeong Goryeong weir	Gamcheon downstream	3,031	8	-4,969
		Hancheon junction	26,528	34,9	-8,372
		Chilgok weir	26,038	39,3	-12,762
		Seongju	28,152		-11,148
Geumho	Geumho river	Gangjeong Goryeong weir	28,662		-10,638
		Geumho river midstream	4,562	9,1	-4,538
Nakdong	Changnyeong Hapcheon weir	Geumho river downstream	5,629	11,7	-6,071
		Goryeonggyo	35,533	46,3	-10,767
		Dalsung weir	15,832		-30,468
		Hyeonpung	20,127		-26,173
Changnyeong Hapcheon weir	59,575	13,275			
Hwang	Hwang river	Jukgo	5,339	8,6	-3,261
		Hwang river junction	21,373		12,773
Nakdong	Nakdong Changnyeong	Jeokpo-gyo	44,748	52	-7,252
		Masuwon	45,151		-6,849
		Nam river junction	45,243		-6,757
Nam river	Nam river	Jeongam	12,967	16,5	-3,533
		Hamancheon junction	13,651		-2,849
		Nam river downstream	14,324		-2,176
Nakdong	Nakdong Miryang	Jindong	60,035	61	-0,965
		Haman Changnyeong weir	36,962		-24,038
		Imhaejin	24,279		-36,721
		Sincheon junction	61,500		0,500
Miryang	Miryang river	Miryang river junction	63,265		2,265
		Miryang	2,545	8,7	-6,155
Nakdong	Nakdong Estuary weir	Miryang river	2,800		
		Wondongcheon junction	66,640	61	5,640
Yangsan	Yangsancheon downstream	Wolchon	66,860		
		Yangsancheon downstream	0,502	0,6	-0,098
Nakdong	Nakdong estuary weir	Gupo	67,592	61	6,592
		Nakdong estuary weir	68,377		7,377

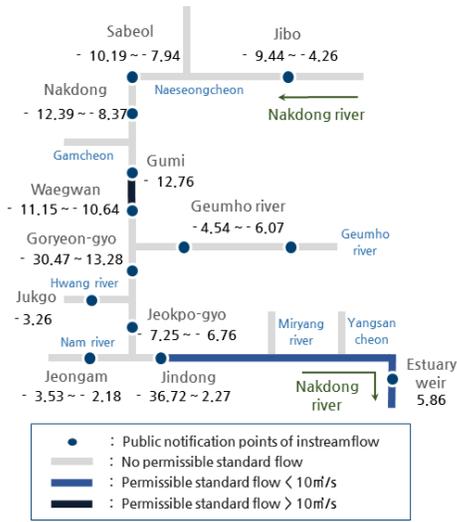


Fig. 2. The permissible standard flow (Nakdong River Basin) [Unit: m³/s]

황이다. 또한 필요한 생·공·농업용수의 사용이 어려운 상황에서 냉난방 에너지 사용을 위한 하천수의 취수는 불가능할 것으로 판단된다(Fig. 2, Table 2).

금강수계의 표준유역별 허가 기준유량을 검토한 결과, 갑천을 제외하고 허가 기준유량이 남아 있는 것으로 확인되었다. 특히 금강공주 중권역부터 금강하구언까지 유량이 많아 하천유지유량을 제외한 허가 기준유량이 7.73~12.53m³/s 까지 분포하고 있어 기허가량을 제외한 유량 범위 내에서 사용이 가능할 것으로 보인다(Fig. 3, Table 3).

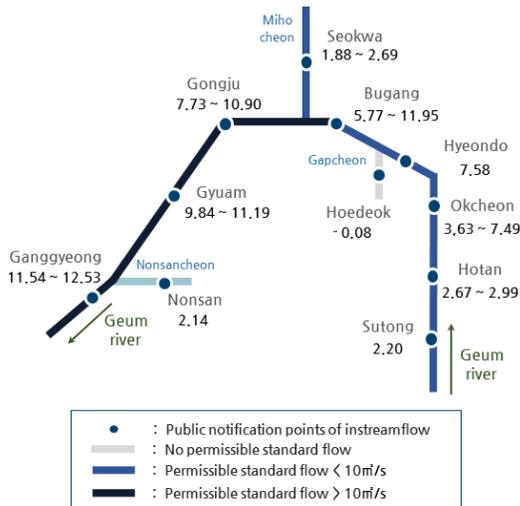


Fig. 3. The permissible standard flow (Geum River Basin) [Unit: m³/s]

Table 3. The permissible standard flow (Geum river basin)

River name / Mid-watershed	Standard basin name	10-year low flow (m ³ /s)	Instreamflow requirement (m ³ /s)	Permissible standard flow (m ³ /s)	
Geum river	Yeongdong-cheon	Hwangcheon junction	5,203	3	2,203
		Hotan	6,374	3.7	2,674
		Cho river junction	6,694	3.7	2,994
	Daecheong dam upstream	Cheongcheon junction	9,533	5.9	3,633
		Daecheong dam upstream	11,668	5.9	5,768
		Daecheong dam	13,246	5.9	7,346
Daecheong dam	Daecheong dam	13,385	5.9	7,485	
	Daecheong control dam	13,385	5.9	7,485	
	Daecheong control dam	13,385	5.9	7,485	
Gapcheon	Gapcheon downstream	2,424	2.5	-0.076	
Geum river	Daecheong dam downstream	Maepo	16,082	8.5	7,582
		Mihocheon junction	16,271	10.5	5,771
Mihocheon	Mihocheon	Seokwa	4,380	2.5	1,880
		Mihocheon downstream	5,188	2.5	2,688
Geum river	Geum river Gongju	Yongsucheon	22,448	10.5	11,948
		Gongju	23,011	15.1	7,911
		Gongju weir	22,826	15.1	7,726
		Eocheon junction	26,001	15.1	10,901
		Baekje weir	25,043	15.1	9,943
		Gyuam	26,944	17.1	9,844
		Nonsancheon junction	28,290	17.1	11,190
Nonsancheon	Nonsancheon downstream	2,340	0.2	2,140	
Geum river	Geum river estuary weir	Ippo	31,442	19.9	11,542
		Geum river estuary weir	32,425	19.9	12,525

영산강수계의 표준유역별 허가 기준유량을 검토한 결과, 장성댐 유역을 제외하고 허가 기준유량이 남아 있는 것으로 확인되었다. 하지만 하천 유량자체가 상대적으로 적어 허가 기준유량의 경우 수계 전체에서 0.17~4.01m³/s 사이로 분포하고 있다. 기허가량도 제외하여야하므로 실제적으로 하천수 사용이 가능한 구간은 영산포-사포 유역 구간으로 판단된다(Fig. 4, Table 4).

섬진강수계의 표준유역별 허가 기준유량을 검토한 결과,

본류에서 허가 기준유량이 2.82~10.17m³/s, 요천 및 보성강에서 각각 1.29m³/s, 2.13m³/s이다. 허가 기준유량에서

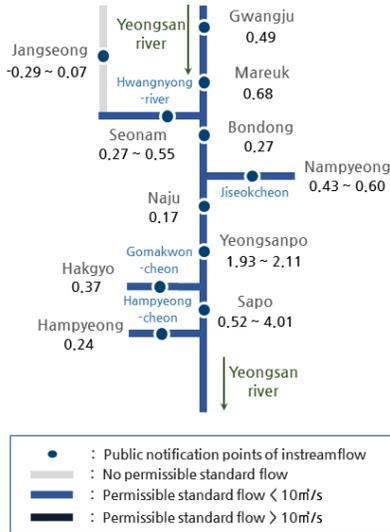


Fig. 4. The permissible standard flow (Yeongsan River Basin) [Unit: m³/s]

Table 4. The permissible standard flow (Yeongsan river basin)

River name / Mid-watershed	Standard basin name	10-year low flow (m ³ /s)	Instreamflow requirement (m ³ /s)	Permissible standard flow (m ³ /s)	
Yeongsan river	Gwangju	1,062	0.57	0.492	
	Hwangnyong river junction	1,547	0.88	0.667	
Hwangnyong river	Jangseong dam	0,271	0.56	-0,289	
	Hwangnyong river midstream	0,631		0,071	
	Hwangnyong river downstream	1,244		0.554	
Jiseokcheon	Nampyeong	1,182	0.75	0.432	
	Jiseokcheon	1,350		0.600	
Yeongsan river	Seungchon weir	1,844	1.57	0.274	
	Naju	2,581	2.41	0.171	
	Yeongsanpo	4,604	2.49	2.114	
	Juksan weir	4,416		1,926	
Gomakwoncheon	Gomakwoncheon downstream	0,472	0.1	0.372	
Hampyeong	Yeongsan river downstream	Hampyeongcheon	0,317	0.08	0.237
	Yeongamcheon junction	6,841	2.83	4.011	
Yeongsan river estuary weir	Yeongsan Yeongamho link canal	3,512		0.682	
	Yeongsan river estuary weir	3,354		0.524	

실제 하천수 사용허가를 위해서는 기허가량의 검토가 필요 한데, 섬진강유역의 경우 농업용수로 70% 이상이 사용되고 있기 때문에 이에 대한 기허가량을 검토해볼 필요가 있다. 또한 농업지역이므로 적절한 수요처가 있는지 확인이

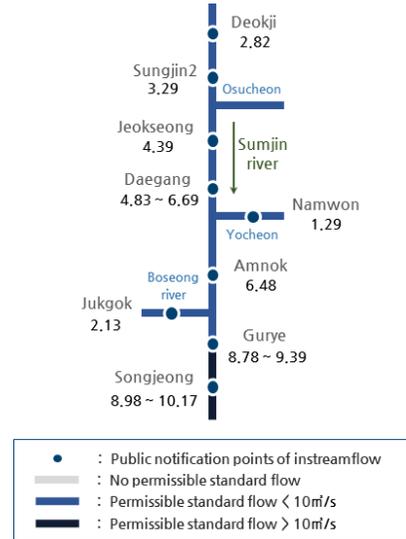


Fig. 5. The permissible standard flow (Sumjin River Basin) [Unit: m³/s]

Table 5. The permissible standard flow (Sumjin river basin)

River name / Mid-watershed	Standard basin name	10-year low flow (m ³ /s)	Instreamflow requirement (m ³ /s)	Permissible standard flow (m ³ /s)
Sumjin river	Sumjin river dam downstream	3,583	0.76	2,823
	Osucheon junction	4,201	0.91	3,291
Osucheon	Osucheon downstream	1,252	0.37	0,882
Sunchang	Gyeongcheon junction	5,697	1.31	4,387
	Yocheon junction	6,583	1.75	4,833
Yocheon	Yocheon downstream	1,542	0.25	1,292
Sumjin Gokseong	Gokseongcheon junction	8,442	1.75	6,692
	Amnok	8,987	2.51	6,477
Boseong river	Boseong river downstream	3,411	1.28	2,131
	Sumjin river downstream	Gurye	12,847	4.07
Sonjeong		13,461	9,391	
Hwagaecheon junction		13,603	4.62	8,983
Hodong2		14,171		9,551
Sumjin river downstream		14,794		10,174

필요하다(Fig. 5, Table 5).

하천수 사용허가 허가 기준유량을 검토한 결과 낙동강 수계 및 타수계의 일부구간을 제외하고 허가 기준유량이 남아 있는 것으로 확인되었다. 하지만 여기서 실제 하천수 사용허가를 위해서는 사용허가가 가능한 유량이 있더라도 사용 목적이 다른 법률에 위배되지 않아야하며, 기존에 하천수 사용허가를 받고 있는 기득하천 사용자에게 미치는 영향도 없어야 함을 유의해야한다. 본 검토결과는 현재 남아있는 허가 기준유량의 유무를 판단한 것으로 실제 사용허가의 유무는 홍수통제소에서 하천수 사용허가 매뉴얼을 통해 검토하고 판단하게 된다. 또한 히트펌프 열원으로서 하천수를 이용하는 경우 열 이용 이후 배출되는 수량의 변화는 없더라도 배출수에 의한 표층수 수질인자 변동에 따른 환경문제를 검토하기 위해 관계기관과의 협의가 필요하다.

하천수를 히트펌프 열원으로서 사용하는 경우 발전용수나 환경개선용수와 같이 회귀율이 100%에 가깝고 손실이 거의 발생하지 않는다. 하지만 하천수 사용허가를 얻기 위해서는 현재 별도의 기준이 제시된 바 없기 때문에 동일한 기준이 적용되고 있다.^[16] 또한 현재 전국적으로 가뭄 발생이 잦아지고 심화되고 있어 하천수의 사용허가를 위한 가용유량이 전반적으로 부족한 상황이라 현실적으로 하천수 사용허가가 어려운 실정이다. 따라서 하천수를 히트펌프 열원으로 사용하기 위해서는 회귀율을 고려한 새로운 하천수 허가기준이 제안되어야 할 것으로 보인다.

3.2 하천수의 취수 가능지역 검토

3.2.1 국내외 하천수 열원 히트펌프 설치 여건

하천수 열원 히트펌프 시스템에 대한 국내외와 해외의 설치 환경은 크게 다르다. 국내에서는 하천의 수량이 연중 크게 변동하며, 이용 시설이 하천에서 거리가 멀리 위치한다. 반면에 해외에서는 하천의 수위가 연중 변동이 적고, 이용 시설이 하천에 인접하여 위치한 사례가 많으며, 하천수 열원 히트펌프는 이러한 환경에서 많이 보급되고 있다.

해외에서는 하천수를 간편하게 이용할 수 있는 여건을 갖춘 지역을 중심으로 하천수 히트펌프가 보급되었으며, 여건이 좋은 지역에서는 가정용과 같은 소규모 하천수 히트펌프가 보급되었다. 국내는 하천의 유량 변동이 심하여 열 사용처가 하천에 인접하여 위치하지 않고 있다. 히트펌프

를 이용하여 냉방과 난방을 수행할 수 있는 건물이 하천에서 멀리 떨어져 있는 국내 여건에서, 호수변 또는 하천변에 위치한 극히 일부 건물을 제외하면 하천수를 용이하게 이용할 수 있는 여건을 갖추고 있다고 보기 어렵다.

3.2.2 하천수 수열에너지 취수 가능 지역 검토

국내의 경우 하천의 유량변동이 크기 때문에 하천수 수열원 히트펌프를 이용하는 온도차 냉난방 수요처가 주로 하천에서 멀리 떨어져 위치하고 있다. 따라서 하천 유량의 이용가능량이 충분하더라도 수요처와의 거리 및 규모에 따라 기술적인 문제와 경제성 문제로 수열원 사용이 불가능한 경우가 있다. 그러므로 하천수 사용을 위해서는 먼저 하천수 유량이 적절한 구간을 대상으로 수열에너지 취수 가능 여부의 검토가 필요하다.

건물규모와 관로이격거리는 경제성평가에서 중요한 요소이므로 적절한 관로이격거리 내에 적정 규모의 수요처가 존재하는지를 검토해야 한다. 일반적으로 하천수를 이송하는 배관의 공사비용은 도시지역 기준으로 100m 당 약 1억 원으로 산정되고 있다. 이를 고려하여 기존의 한국수자원공사(2010)의 ‘온도차에너지 활용 냉난방사업 신규적지조사’ 연구에서는 최대 1km 이내에 수요처가 있을 때에 경제성이 있다고 보고 하천 1km 이내 건물을 주요 대상으로 적지를 분석한 사례가 있다.^[18] 본 분석에서도 관로이격거리에 따른 경제성 문제를 고려하여 하천변에서 1km 이내의 건물 시설을 가능한 수요 대상지로 분석하였다.

앞서 유량 분석 결과를 바탕으로 하천의 이용가능량이 충분한 구간을 대상으로 GIS 상에 하천변 1km 이내 위치한 건물들을 도시하였다. 권역별로 건물 시설이 주위에 많이 분포하는 지역의 건물 용도 분석을 통해 예상 수요지를 조사하였다. 이때 일정 규모의 밀집된 상업 및 주택지구를 수요 대상지로 판단하였다. 하천의 허가가능유량을 토대로 하천수 취수가 가능한 구간을 검토하였고, 가능한 하천 구간의 하천변 1km 이내의 건물 시설 중 가능 수요처를 검토하여 실제 하천수 열원의 사용을 위한 취수 가능 지역을 분석하였다.

한강권역에서는 북한강의 청평댐 하류부부터 한강하류까지 허가 기준유량이 3.6m³/s-10m³/s 이상까지 하류부로 갈수록 허가 기준유량이 증가하였다. 해당 구간의 건물

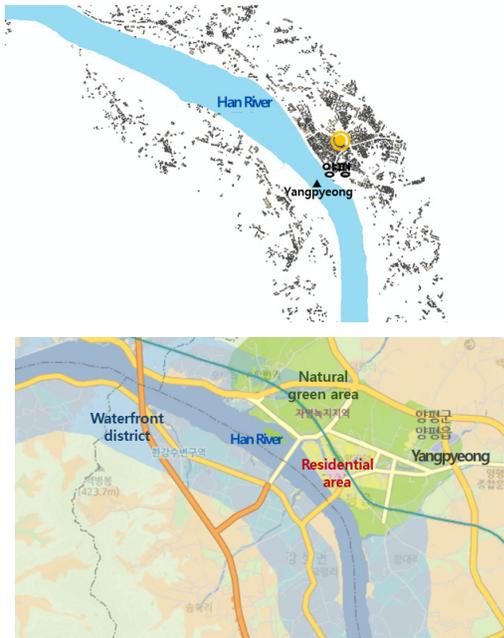


Fig. 6. River water hydrothermal energy demand (Han river - Yangpyeong)

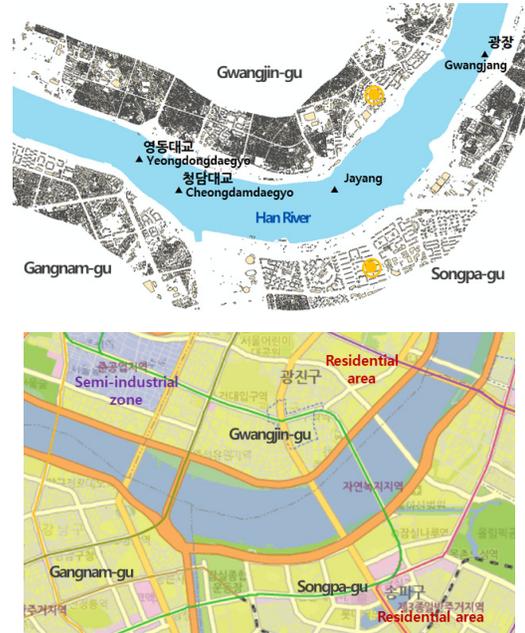


Fig. 7. River water hydrothermal energy demand (Han river - Jungrangcheon junction)

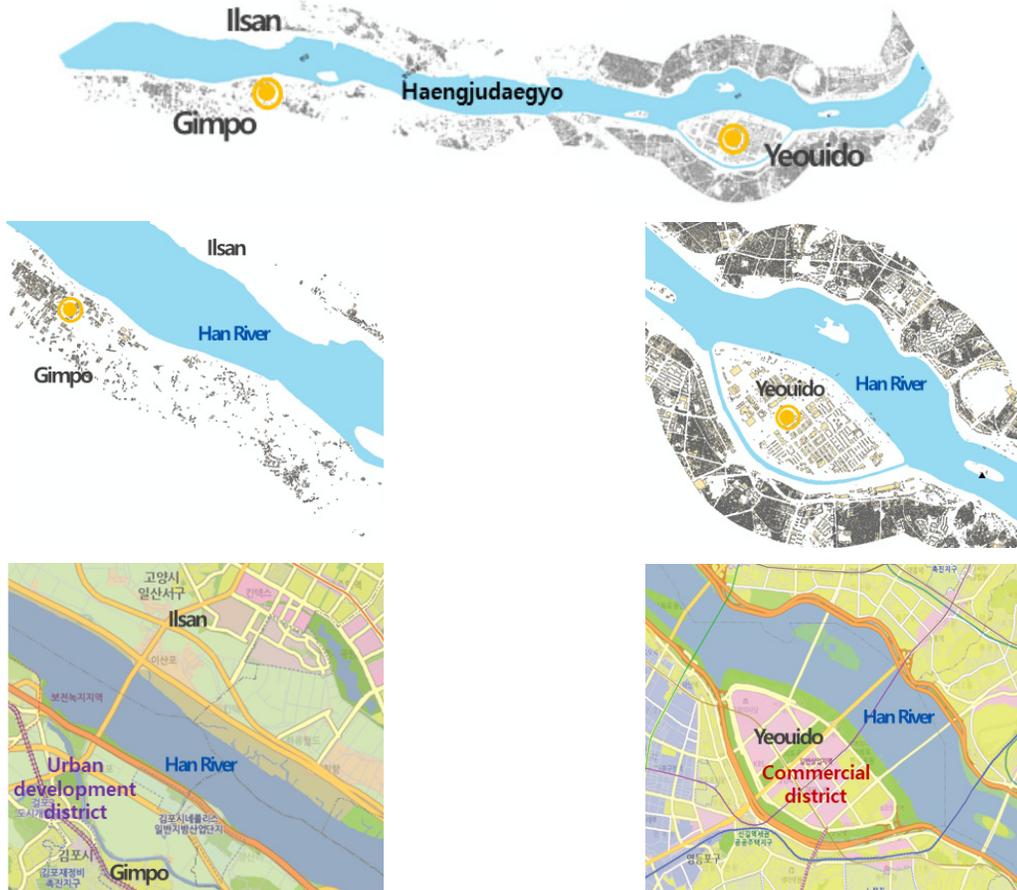


Fig. 8. River water hydrothermal energy demand (Han river downstream)

수요를 확인한 결과, 양평과 서울 부근의 하천 인근에 주거 및 상업지역이 입지하여 집단냉난방 수요처에 대한 하천수 열원의 취수가 가능할 것으로 판단된다(Figs. 6, 7, 8).

금강권역에서는 갑천을 제외하고는 허가 기준유량이 $2.1\text{m}^3/\text{s}$ 이상으로 유량측면에서는 취수가 가능하다. 하지

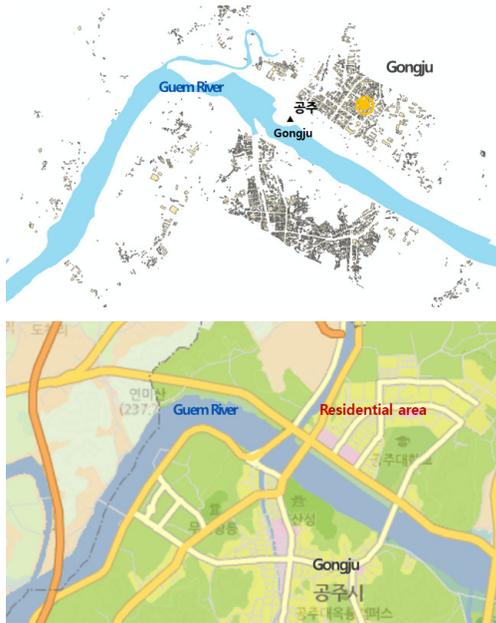


Fig. 9. River water hydrothermal energy demand (Geum river - Gongju)

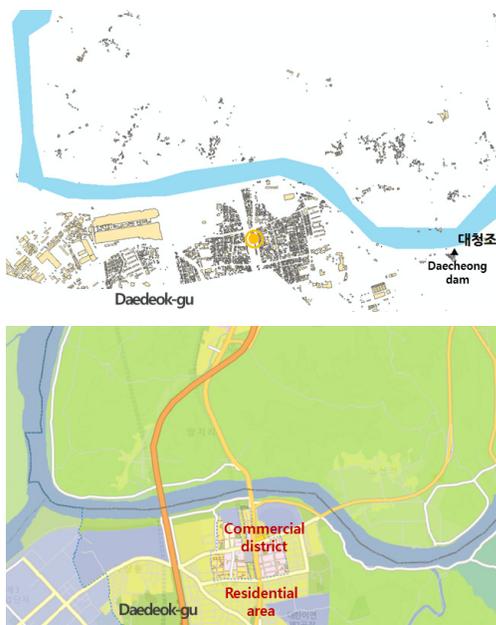


Fig. 10. River water hydrothermal energy demand (Geum river - Daecheong dam downstream)

만 하천 인근의 수요처는 공주시와 대청댐 하류의 대덕구에만 조밀하게 분포하고 있어서 취수는 수요처가 있는 구간에서만 가능하다(Figs. 9, 10).

영산강권역에서는 장성댐유역을 제외하고 허가 기준유량이 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ ~ $4.0\text{m}^3/\text{s}$ 정도 분포하고 있다. 하지만 하천 인근에 건물이 밀집된 곳이 많지 않고, 주거지역은 단독주택이 주로 분포하고 있어서 수열에너지 냉난방 수요처로 적절하지 않다(Fig. 11).

섬진강권역에서는 하천 인근에 주로 농림 및 생산관리지역이 분포하고 있어 1km 근방에 수요처가 많지 않아 먼 곳의 수요처까지 하천수 수열에너지를 이동하는 데에는 기술적, 경제적인 제약이 따르기 때문에 추가적인 검토가 필요하다(Fig. 12).

낙동강권역에서는 수요처와는 무관하게 낙동강하구연 중권역을 제외하고는 허가 기준유량이 남아있지 않으므로 현재 하천수 사용을 위한 취수가 어려운 실정이다. 섬진강권역은 하류구간으로 갈수록 하천기준유량이 많아지나 인근에 수요처가 많지 않아 활용하기 어려울 것으로 판단된다.

이와 같이 각 권역별로 하천수 유량을 활용할 수 있다고 판단되는 구간을 대상으로 하천변 예상 수요지를 조사한

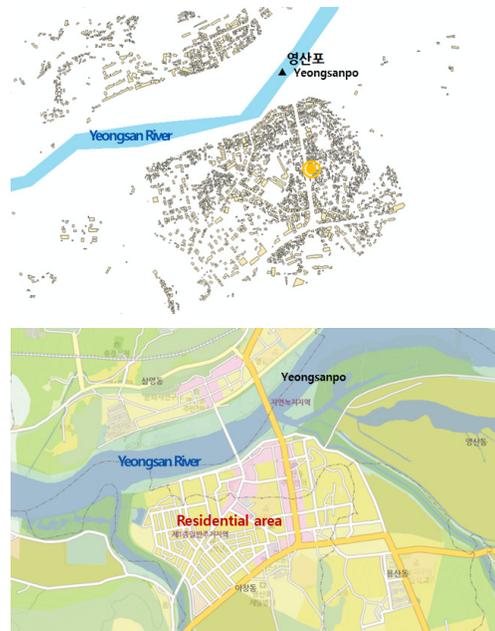


Fig. 11. River water hydrothermal energy demand (Yeongsan river - Juksan weir)

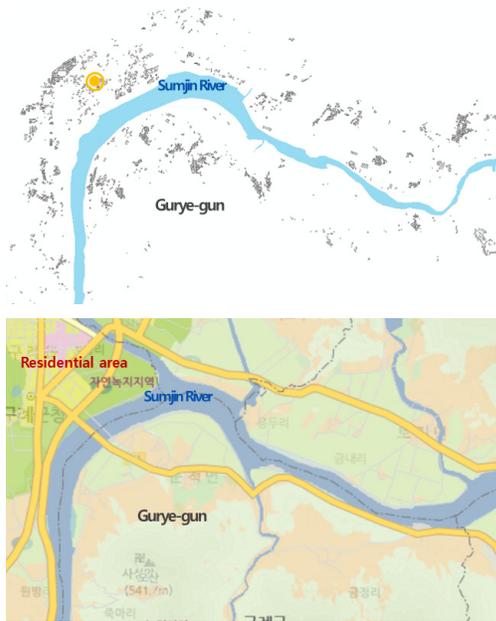


Fig. 12. River water hydrothermal energy demand (Sumjin river downstream)

결과, 주거 및 상업지역이 입지하고 있는 한강권역의 양평과 서울 부근 및 금강권역의 일부 구간이 취수가 가능할 것이라 판단된다. 하지만 이는 입지한 위치 상 가능 수요지를 고려한 것으로 실제 수요지와는 차이가 있을 수 있으며, 추후 가능 수요지를 대상으로 현장 조사를 통한 실수요지 조사가 필요하다. 또한 국내 하천의 경우 유량변동이 크고 동절기에 동결 발생 가능성이 높으며 이용시설과 하천의 높이차가 크다. 따라서 실제 하천수 수열에너지 활용을 위한 취수를 위해서는 이러한 요소를 반영한 기술적, 경제적인 분석도 추가적으로 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 하천수 수열에너지에 대해 활용성 및 타당성을 검토하였다. 먼저 하천수 열원에 대하여 허가 기준 유량 확보에 대한 안정성을 검토한 결과, 낙동강 및 수계의 일부구간에서는 허가 기준유량이 남아있지 않은 것으로 확인되었다. 또한 실제 하천수 사용을 위해서는 사용허가가 가능한 유량이 있더라도 다른 법률 및 기득하천 사용자도 고려하여야 한다. 실제 사용허가의 유무에 대해서는 홍수 통제소에서 검토하고 판단하게 된다. 또한 히트펌프 열원

으로서 하천수를 이용하는 경우, 배출수에 의한 표층수 수질인자 변동에 따른 환경문제를 검토하기 위해 관계기관과의 협의가 필요하다.

본 연구에서는 현재 국내에서 정하고 있는 기준에 따라 기준갈수량에서 하천유지유량을 제외하여 허가 기준유량을 산정하였다. 기준갈수량은 최근 10년간의 갈수량 중에서도 작은 갈수량으로 이를 기준으로 허가 기준유량을 산정하고 그 외의 여러 제한요인을 고려한다면 현실적으로 하천수 사용허가가 쉽지 않은 실정이다. 따라서 하천수 수열에너지의 활용을 위해서는 하천수의 회귀율을 고려한 새로운 하천수 허가기준을 제시하거나 기준갈수량을 대신하여 유량의 계절적 변동을 고려한 완화된 유량 기준을 적용하는 등 새로운 허가기준을 고려해야 할 것으로 보인다.

다음으로 각 권역별로 하천수 유량을 활용할 수 있다고 판단되는 구간을 대상으로 하천변 예상 수요지를 조사한 결과, 주거 및 상업지역이 입지하고 있는 한강권역의 양평과 서울 부근 및 금강권역의 일부 구간을 제외하고는 취수가 불가능할 것으로 분석되었다. 이는 입지한 위치 상 가능 수요지를 고려한 것으로 실제 수요지와는 차이가 있을 수 있다. 국내 하천의 경우 유량변동이 크고 동절기에 동결 발생 가능성이 높아 실제 하천수 수열에너지 활용을 위한 취수를 위해서는 추가적인 기술적, 경제적 분석이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 하천수 수열에너지의 활용성을 검토하여 향후 국내 온실가스 감축을 위한 새로운 대안으로의 가능성을 평가하는 지표가 될 수 있을 것이다. 특히 현재 하천수 수열에너지의 신재생에너지 지정을 위한 논의에 있어서 객관적인 근거로 제시될 수 있을 것이라 기대된다. 하지만 하천수 수열에너지의 실제 활용을 위해서는 유량의 안정성 검토 외에도 하천수 열 이용을 위한 인허가 및 다양한 이해관계자와 사전협의를 필요하므로 이해 대한 상세한 검토가 필요하다. 또한 냉방 운전 수행시 하천 방류수 온도가 취수 온도에 비하여 상승하게 되어 히트펌프 방류수가 하천 수생태계에 영향을 미칠 수 있다. 이와 관련하여 하천수 수열에너지의 활용을 위한 환경적 측면에서의 타당성 검토 연구도 추가적으로 진행된다면 보다 더 신뢰성 있는 하천수 활용의 타당성을 검증할 수 있을 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] NEDO, 1998, “新エネルギー技術開発関係データ集作成調査(未利用エネルギー)”, 財団法人日本システム開発研究所, 調査報告書 NEDO-P-9810, 1-66.
- [2] 허재영, 박준택, 김산, 1998, “하천수열에너지 부존량에 관한 연구”, 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 대한설비공학회, 872-877.
- [3] Lyden, A., 2015, “Viability of river source heat pumps for district heating”, University of Strathclyde engineering, United Kingdom.
- [4] Department of Energy & Climate Change, 2015, “National Heat Map: Water source heat map layer”, United Kingdom.
- [5] 한국에너지기술연구원, 2005, “미활용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구”, 과학기술부.
- [6] 한국수자원공사, 2010, “K-water 저탄소 녹색에너지 자원조사”, 한국수자원공사.
- [7] 한국수자원공사, 2014, “온도차냉난방 사업모델 개발 및 타당성조사”, 한국수자원공사.
- [8] 에너지경제연구원, 2017, 신재생에너지 보급목표 달성을 위한 추진전략 연구, 산업통상자원부.
- [9] 박준택, 2003, “미활용에너지의 현황과 전망”, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물, 3-60.
- [10] 한국에너지기술연구원, 2007, “미활용에너지 자원조사”, 산업자원부, 1-311.
- [11] 진상현, 홍은정, 2013, “도시지역 미활용 에너지의 타당성에 관한 사례 분석 - 기술제도인프라를 중심으로”, 한국생태환경건축학회 논문집, 13(1), 17-28.
- [12] 국가법령정보센터, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 시행령 (별표1: 바이오에너지 등의 기준 및 범위)」.
- [13] 김상욱, 2017, “수열에너지 활성화를 위한 입법화에 있어 고려할 사항”, 물과미래, 수자원학회, 50(12), 25-33.
- [14] 정성엽, 김영일, 2017, “국내외 수열에너지 활용사례 및 정책연구”, 한국신재생에너지학회 2017년도 춘계학술대회 발표자료, 한국신재생에너지학회.
- [15] Tim, T., Peer, P.E., 2002, “Lake Source Cooling”, ASHRAE Journal, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 47(4), 37-39.
- [15] 김형수, 2010, “수문학”, 동화기술.
- [16] 박정은, 김한나, 류경식, 이을래, 2016, “시·공간적 유량 변화를 고려한 탄력적 하천관리 기준유량 산정 및 평가”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 49(8), 673-683.
- [17] 한국수자원공사, 2010, “K-water 온도차에너지 활용 냉난방사업 신규개발 적지조사”, 한국수자원공사.