

국내 하수 및 하천수의 수열에너지 활용사례



정재원
인하대학교 토목공학과 박사과정
jungjw89@gmail.com



남지수
인하대학교 토목공학과 석사과정
jsu1790@naver.com



김형수
인하대학교 사회인프라공학과 교수
sookim@inha.ac.kr

1. 서론

수열(水熱)에너지란 해수, 하천수, 하수 등의 수온과 대기온도와의 온도차를 히트펌프의 열원으로 이용하여 냉난방 등의 용도로 이용하는 에너지를 지칭한다. 이러한 수열에너지의 경우 유럽국가 및 일본 등에서 오래전부터 활용해오고 있으며, 국내에서는 최근 해수 표층수의 수열에너지가 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」에서

신재생에너지원 범주에 추가되었다. 또한 하수처리수의 경우도 활용사례가 다수 알려진 바 있다. 하천수의 경우 하천에서 직접 취수하여 활용한 국내 사례는 아직 없으며 K-water에서 광역상수도 원수관로에서 수열에너지를 활용하여 운영중인 사례가 있다. 본 고에서는, 이러한 수열에너지의 개념을 정리해보고 현재 국내외에서 하수 및 하천수의 수열에너지가 활용되고 있는 사례를 소개하고자 한다.

2. 수열에너지 개념

먼저 온도차에너지는 외부기온과 온도차가 있는 열원을 히트펌프를 이용하여 사용하는 에너지로, 대표적인 열원으로는 하천수, 하수처리수, 해수 등의 수열원과 지하수 및 지하열 등의 지열원 등이 있다(박준택과 장기창, 2002). 이 중 수열원을 이용한 에너지의 경우 ‘수열에너지’라고 일반적으로 명칭하고 있으며, 히트펌프를 통해 냉방시 건물의 열을 물을 통해 방출하고 난방시 물에서 열을 얻어 건물 안으로 공급하는 원리로 운영된다. 여기서 히트펌프는 60℃이하의 저온열원에서 열을 회수하여 필요로 하는 온도까지 상승시키는 장치이다. 공기, 물, 태양열, 산업폐열 등을 저온열원으로 다양하게 이용할 수 있으며, 기화하기 쉬

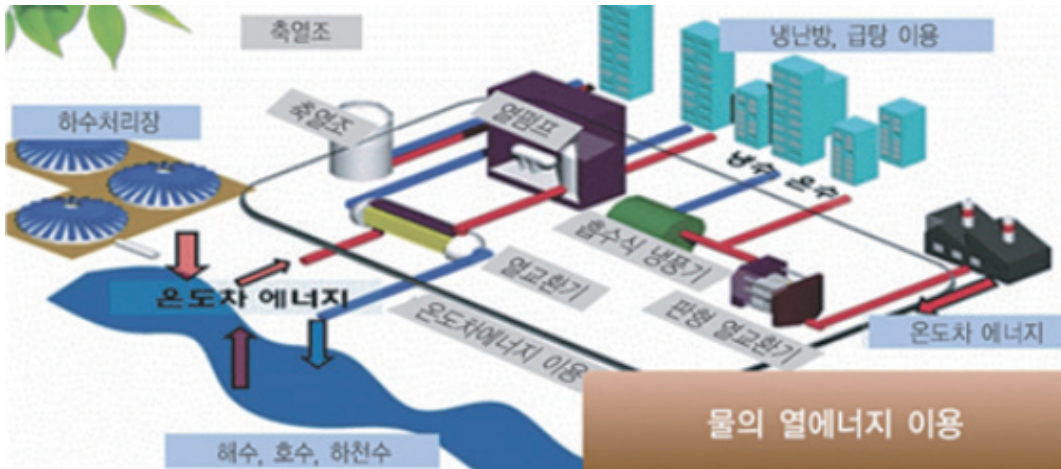


그림 1. 수열에너지 이용 개념도

운 액체를 매체(냉매)로 한다. 열원에 의해 히트펌프의 운전 특성과 경제성이 결정된다.

그림1은 수열에너지 이용 개념도로 해수, 호수, 하천수, 하수처리수 등에서 취수한 물의 수열에너

지를 히트펌프를 통해 냉난방에너지로 활용하는 과정을 나타내고 있다. 그림2는 히트펌프의 작동 원리를 나타내고 있으며, 히트펌프를 통해 에너지를 얻는 과정은 다음 순서와 같다.

- ① 고온고압의 냉매가 급격하게 팽창하여 저온저압의 액체로 됨
- ② 저온저압의 액체는 열원에 접하면서 가열되어 기화됨. 이때 열원으로부터 기화열을 빼앗음
- ③ 압축기에 의하여 고온고압의 기체로 됨
- ④ 고온고압의 기체는 실내를 난방한 후의 환수로 인하여 냉각되어 액화함. 이때 환수에 응축열을 방출함

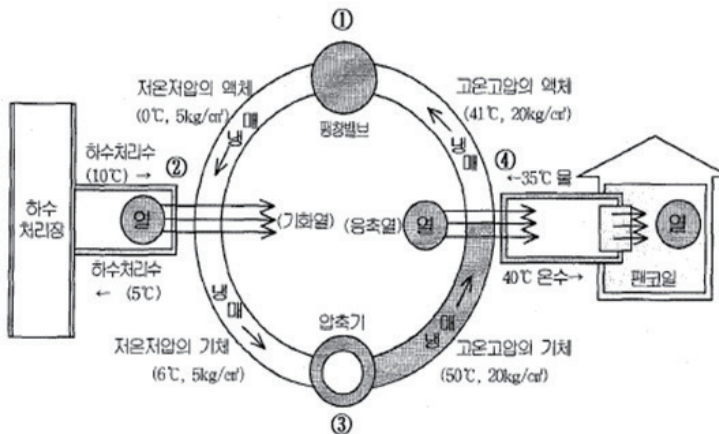


그림 2. 히트펌프 작동 원리

3. 국내외 수열에너지 활용현황

3.1 국외현황

유럽을 비롯한 미국, 일본 등에서는 1960년대부터 건물, 농업, 교육시설 등에 수열에너지를 사용해 왔다. 특히 일본의 경우 지역냉난방에 적용할 수 있는 수열원 히트펌프 개발이 1970년대부터 활발하게 진행되어 왔다.

- 일본 하코자키지구 하천수 활용사례

일본 최초 하천수를 이용한 지역냉난방 사업으로 하코자키 재개발지구에 도입되었다. 하코자키 지구는 열수요밀도가 높고, 다양한 용도의 건물이

혼재하여 열수요량이 평준화되었으며, 계획적인 개발로 건설공정, 열 수요계획이 명확하여 지역냉난방사업을 하기 좋은 조건을 갖추고 있다. 스미다(Sumida)강 하류에 위치하고 있으며 남쪽에는 도쿄만에 연결된 수로에 의하여 둘러싸여 있다. 열원으로는 스미다강의 하천수열을 이용하고 기본적으로 이 지역에 공급하는 열 전량을 하천의 수열로만 감당하고 있다.

열 공급 구역면적은 동경도 중앙구 하코자키지구의 일부 약 278,000㎡이고, 수요처는 업무용 빌딩 5동, 주택 100호이며, 열제조 플랜트는 삼정창고 상기빌딩 지하3층에 1,633㎡ 규모이다. 지역배관은 4관식으로 수요처 공급 조건은 다음과 같다.

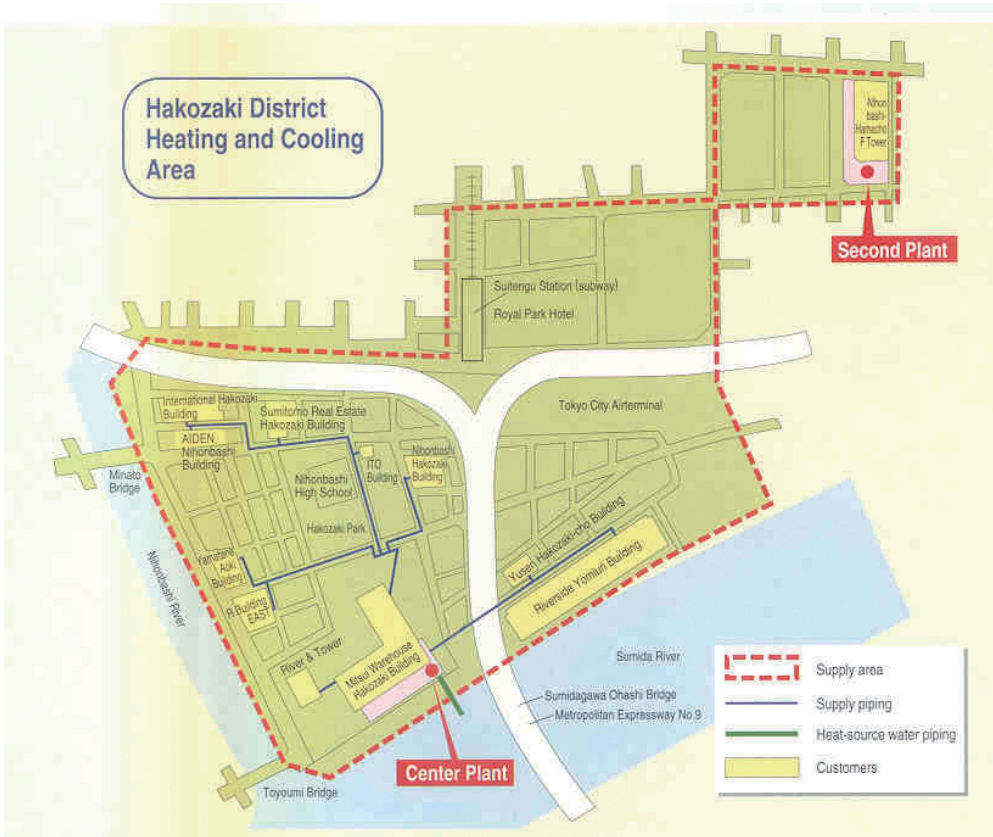


그림 3. 하코자키지구 지역열공급구역도

표1. 하코자키지구 수요처 공급조건

구분		공급조건	
온도	업무용	냉수	7℃ → 14℃
		온수	47℃ → 40℃
	주택	냉수	9℃ → 16℃
		온수	45℃ → 38℃
		급탕	60℃
압력	업무용	2~4 kg/cm ²	
	주택	2~13 kg/cm ²	

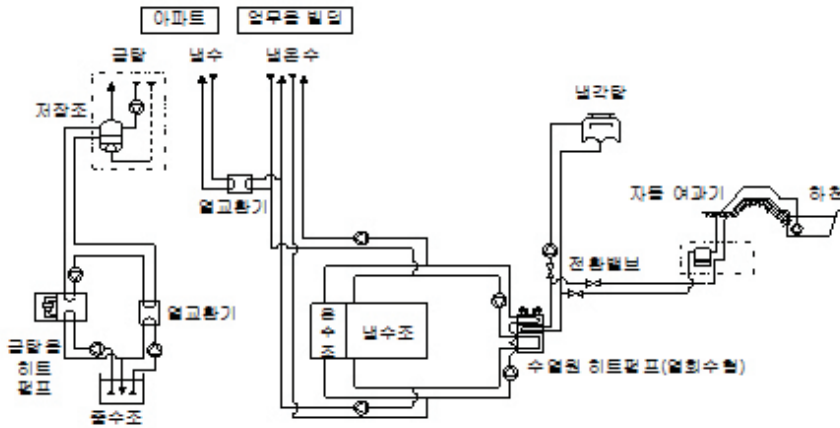


그림 4. 하코자키지구 하천수이용 지역열공급시스템 개략도

열원으로 사용되는 스미다강의 수온은 하절기에는 약 25℃, 동절기에는 약 8℃이며 연간 20℃ 전후로 변동하고 월간 2~3℃ 전후로 변동하고 있어 외기에 비해 안정되어 있다. 취수량은 환경영향을 고려하여 스미다강 최저유량 15m³/s 중 최대 0.64 m³/s를 취수하여 에너지공급에 이용하고 있다. 하천의 높이는 7m이고 취수구 높이는 5m이며, 하천수 이용온도차는 하절기 +5℃, 동절기 -3℃이다.

– 국외 하수 수열원 활용사례

하수 수열원의 경우 스웨덴, 노르웨이와 같은 북유럽국가와 일본에서 널리 활용되고 있는 것

로 알려져 있다. 하수처리수와 생활하수가 각각 사용되고 있으며, 보통 전기보일러를 대체하여 지역냉난방시스템으로 활용되고 있다.

2 국내현황

국내에서는 현재까지 하천에서 하천수를 취수하여 히트펌프를 통해 활용한 사례는 부산 낙동강 화훼단지에 시범사업으로 적용한 사례만 알려져 있다. K-water에서는 댐 원수를 상수도 원수관로를 이용해 히트펌프의 열원으로 공급하는 방식으로 수열에너지를 활용하고 있다. 대표적으로 팔당

댐의 물을 수도권 광역상수도 원수관로를 이용해 제2롯데월드 냉난방 열원으로 공급하고 있다. 하

수의 경우 주로 하수처리장의 하수처리수를 이용하여 지역난방공급시스템에 활용하고 있다.

표2. 국외 하수 수열원 활용사례

구분	시설규모	내용	비고
[일본] 코라쿠지구	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 1일당 13만톤 이용 냉수(7°C) 21 Gcal/h, 온수(47°C) 26 Gcal/h 하수열원 HP(터보) 11Gcal/h*2대 + HP(2중콘덴서형) 4.3Gcal/h*1대 보조열원 가열탑(Cross flow) 냉수 4Gcal/h, 온수 1.6Gcal/h 축열조(성층형) 냉온수 470톤, 냉수 1,050톤 	<ul style="list-style-type: none"> 공기열원대비 연간 냉열 32%(-MWh), 온열 23%(- MWh) 에너지 절약 이산화탄소 32%(1,785t), 질소산화물 32%(950kg) 절감 연간 8.8만톤의 절수효과 	동경하수도 에너지(주)
[노르웨이] 오슬로 sandvika 지역	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 1초당 3톤 이용(11만톤/h) 냉수(5°C) 10.7 Gcal/h, 온수(85°C) 11 Gcal/h 하수열원 HP 11Gcal/h*1대 보조열원 보일러 7.7Gcal/h*1대 + 8.6Gcal/h*1대 + 2.1Gcal/h*1대 축열조 100톤 	<ul style="list-style-type: none"> 슬라임 제거를 위한 리버스리턴 방식 적용 고형이물질 제거를 위한 구조개선형 플라스틱 필터 	Baerum 에너지회사
[노르웨이] 오슬로시 스코안웨스트	<ul style="list-style-type: none"> 생활하수 3.5톤/s (10°C) 이용 온수 공급 85°C 히트펌프 2MW*4대 백업용 전기보일러 6MW*2 + 오일보일러 2MW + 5MW 	<ul style="list-style-type: none"> 증발기는 화학세제의 화학처리와 고압수에 의한 세정으로 파울링 경감 	스코안웨스트 지역난방플랜트
[노르웨이] Baerum Fjernvarme	<ul style="list-style-type: none"> 하수열이용 냉수 5°C, 온수 85°C 터보열펌프 5.7MW 보조열원 유류보일러 9MW*1 + 10MW*1 + 2.5MW*1 축열조 100톤 		
[노르웨이] 바룸 산드윅카 지구	<ul style="list-style-type: none"> 생활하수 3톤/s(10°C) 이용 온열 78°C 60GWH/년, 냉열 5°C 12GWH/년 히트펌프 온수 14MW 냉수 9MW * 2대 오일보일러 21.5 MW *3 	<ul style="list-style-type: none"> 수요가는 회수온수를 이용하여 건물 앞 도로 용설(기계제설의 절반비용) 	
[스웨덴] 스토콜름 소르나	<ul style="list-style-type: none"> 이용가능 하수처리수 1.8톤/s(13°C) 난방 80°C 열펌프 30MW*4 	<ul style="list-style-type: none"> 혹한기 피크부하에 대응하는 6대의 전기보일러 적용 동계 수량확보를 위해 인접한 메라렌호수 취수 병행 	

<p>[스웨덴] 스토콜름 하마비</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 하수처리수 1~5톤/s • 공급온도 동계 120°C, 기타계절 70°C 750GW • 히트펌프 32MW*2, 25MW*2, 총 114MW • 보조열원 전기보일러 40MW*2, 오일보일러 80MW*2 	<ul style="list-style-type: none"> • 하수처리수 환수과정에서 터빈발전기(0.3kw) 설치, 10m 낙차이용 발전, 취수펌프 소비전력의 1/3 회수 	<p>스토콜름 에너지사</p>
<p>[북유럽] Hammarbyverket</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 하수열 이용 • 냉수 5°C, 온수 60~80°C • 2단 터보형 열펌프 7.7 Gcal/h*5 • 보조열원 기름보일러 80MW*2 + 15MW*3 + 25MW*3 + 전기보일러 40MW*2 + 1.5MW*2 + 25MW*2 + Water Turbine 315 KW • 축열조 2400톤 *2기 		
<p>[스웨덴] 마루메시</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 온수공급 85~120°C • 최대열부하 850MW • 하수처리수 히트펌프 40MW • 발전기 300MW + 쓰레기소각 75MW + 공장배열 58MW + 보일러 590 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • 전력 1.2TWH/년, 난방2.2TWH/년(1892Tcal) • 배관누설감시를 위해 열매체에 녹색 첨가물 + 알람와이어 + 온도감시 	
<p>[스웨덴] 스토콜름 우프사라시</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 하수처리수 평균 6300톤/일 • 온수공급 60~70°C • 하수열원 히트펌프(2단압축) 13MW*3 • 쓰레기소각 38% + 고체연료(우드칩) 41% + 하수 11% + 전기보일러 5% + 태양에너지 0.1% 		

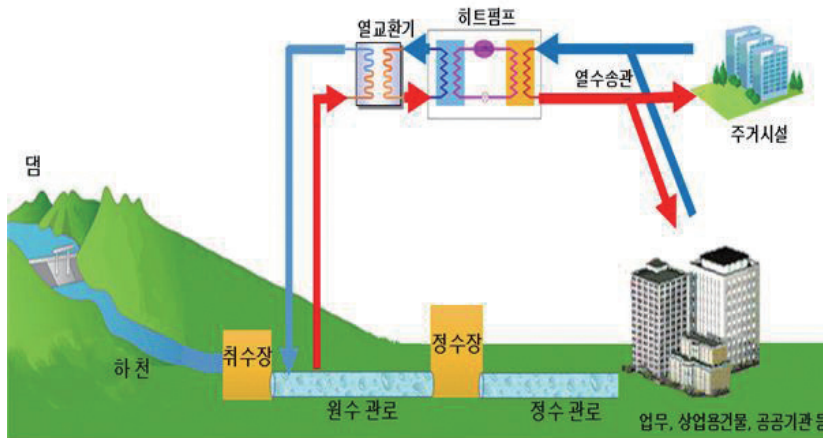


그림 5. 상수도관로(원수관) 수열에너지 이용 개념도

(출처 : K-water 보도자료)

- 제2롯데월드 사례

제2롯데월드의 경우 신재생에너지를 활용하는 국내 최대 규모의 건물이다. 그 중 수열에너지를 활용한 냉난방시스템은 팔당댐에서 흘러오는 물을 광역상수도 배관 내 원수(1,200,000)의 수온차를 이용하여 ‘광역상수원 이용방식’으로 원수 50,000을 송파대로를 통과하는 수로관으로 돌려 열원으로 활용하고 있다. 이는 제2롯데월드 냉난방의 10~20%를 책임지고 있다. 이 냉난방 시스템의 경우 2014년 11월부터 사용되기 시작하였

으며, 이 원수는 롯데월드몰 지하 6층 에너지센터에서 원수관로(지름 80cm)를 통해 유입되고, 열교환기(3대), 히트펌프(6대) 등의 설비를 거치게 되어 있다. 이러한 과정을 통해 3000RT(냉동톤, 10.5MW 상당)의 냉난방 용량이 생성되며 이는 수열에너지만으로 약 2시간을 냉난방할 수 있는 양이다. 제2롯데월드는 심야 전력으로 히트펌프를 가동하여 얻은 냉·온열을 물이 가득 찬 축열조(9300m³)에 저장하였다가 주간의 냉난방에 사용하는 수축열 시스템을 사용하는 특징을 가진다.

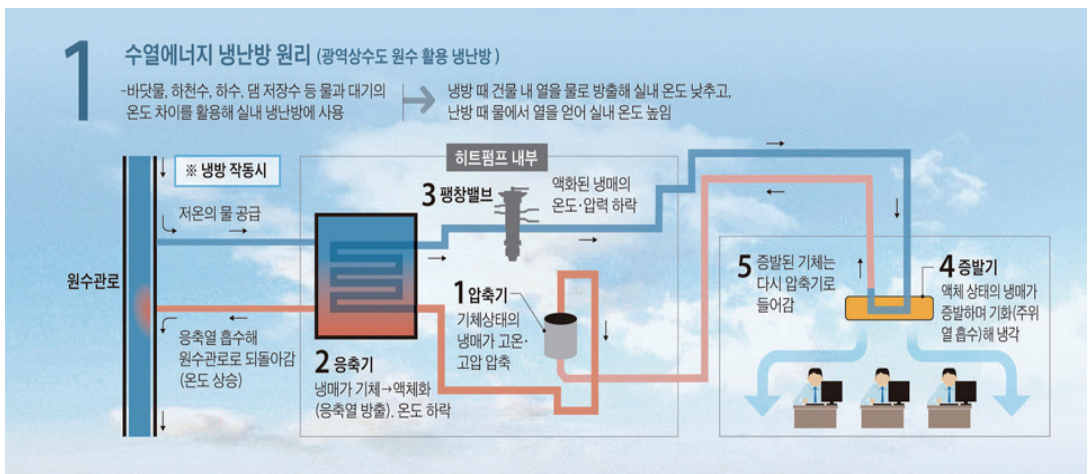


그림 6. 광역상수도 원수 활용 냉난방 원리 (출처 : 조선일보)

- 춘천 네이버 IDC 사례

IDC(Internet Data Center)는 인터넷에 연결되는 서버 등 네트워크 장비를 한곳에 모아 관리하는 시설로 많은 전력을 소비하며 항상 열이 발생하여 냉각 설비가 반드시 필요하다. 최근 IT기업의 IDC 구축이 증가하면서 데이터센터의 효율을 결정하는 냉각 시스템의 효율을 향상시키는 냉각 기술 개발의 중요성이 강조되고 있다. 현재까지는 대부분 냉각탑을 이용한 히트펌프 시스템을 냉각방법으로 사용하고 있다. 하지만 춘천에 위치한 네이버 IDC에서는 서버에서 발생하는 열을 식히

기 위해 K-water가 관리하는 소양강댐 심층냉수를 이용하고 있다. 소양강댐의 총 저수용량은 29억 톤이며 연평균 수온은 7~8℃이다. 이 중에서 사용되는 5~6℃ 심층냉수는 5억 톤 규모이다.

- 국내 하수 수열원 활용사례

국내의 하수 수열원 활용사례는 다음 표와 같다. 서울시에서 하수열을 지역난방 공급에 활용하도록 적극적으로 추진한 결과 하수 수열원을 활용한 사례가 증가하였다.

표3. 국내 하수 수열원 활용사례

구분	시설규모	내용	비고
용인 하수열재생시설	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 22000톤/일 이용 히트펌프 6.6 Gcal/h*1 = 약 30000Gcal/년 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 연간 1765 TOE 에너지절감 기대 연간 9700 TC 이산화탄소 저감 기대 	한국지역난방공사
대구 서부하수처리장	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 1일당 50만톤 중 1930lpm 이용 냉열(5°C) 50Gcal/h 중 347 Mcal/h, 온열(50°C) 84Gcal/h 중 530 Mcal/h 하수열원 HP 347Mcal/h*1대 축열조 270톤(40%) 	<ul style="list-style-type: none"> 동절기대비 하절기 처리수량 20% 증가 하수처리량 동절기는 일정, 다른계절 아침 약 30%감소 국내최초 스크류 2단압축방식 	시범사업
울진 하수처리장	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 5000톤/일 중 39톤/h(19%) 이용 히트펌프 30 KW 	<ul style="list-style-type: none"> 관리동 사무실 냉난방용 (FCU) 판형열교환기(110Mcal/h) 간접열회수방식 	
강서지구 시물레이션	<ul style="list-style-type: none"> 냉열(5°C) 22.4 Gcal/h, 온열(80°C) 34 Gcal/h 하수열원 HP 24.3 Gcal/h*1대 보조열원 보일러 9.7 Gcal/h*1대 	<ul style="list-style-type: none"> 연간 8,667 TOE 에너지 절감 온실가스 6,429 TC/년 저감 	
마곡지구 서남물재생센터	<ul style="list-style-type: none"> 하수처리수 1일평균 80만톤 중 23.5 CMH 이용 냉열(3°C) 289 Gcal/h 중 111.8 Gcal/h, 온열(115°C) 495 Gcal/h 중 291.1 Gcal/h 하수열원 HP 121.3 Gcal/h*10대 보조열원 보일러(80~115°C 승온용) 169.7 Gcal/h 	<ul style="list-style-type: none"> 기존보일러 운전대비 연간 480억 에너지비용 절감 	타당성검토
경주 토비스콘도	<ul style="list-style-type: none"> 생활하수 히트펌프 716 Mcal/h*1대, 냉수 7°C, 온수 50°C 보조열원 공기열원HP 300 Mcal/h*4대 축열조 냉온수 2150톤, 급탕 400톤 	<ul style="list-style-type: none"> 에너지절약 원유 210 kl/년 이산화탄소 176 TC/년, 질소산화물 530 kg/년 	

4. 결론 및 제언

현재 신재생에너지의 보급을 확대하려는 국가 정책에 따라 국내에서도 하천수 수열에너지 활용성에 대한 검토 연구가 지속되고 있다. 본 고를 통

해서 국내외 수열에너지 활용사례를 살펴본 바 유럽과 일본에서는 오랜 기간 하수 및 하천수 수열 에너지를 활용하고 있었다. 국내에서는 하수처리수 수열에너지 활용한 사례는 서울을 중심으로 여러 건 조사되었으나, 하천수 수열에너지를 활용한

사례는 찾아보기 어렵다. 최근 K-water에서 상수도 원수관로에서 수열에너지를 활용하는 시스템이 제2롯데월드 및 IDC센터 등에 적용되고 있다. 현재 국내에서는 수열에너지 활용과 관련한 법적 기준이 제시되지 않고 있다. 향후 하천수 및 하수 수

열에너지 활용을 확대 적용하기 위해서는 하천수 및 하수의 사용 허가에 대한 기준의 제시가 필요하며, 수열에너지 사용에 따른 수온변화가 수생태계에 미치는 영향에 대한 검토 등이 필요할 것으로 사료된다.



참고문헌

국가법령정보센터 (2015), 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 시행령 (별표1: 바이오에너지 등의 기준 및 범위)」

김희서 (2011), 신재생에너지를 활용한 초고층 건축물의 에너지절약기술, 태양에너지, 10(1), 한국태양에너지학회, pp.11-21

박준택·장기창 (2002), 온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구, 한국에너지학회지, 11(2), pp.106-113

박준택 (2003), 미활용에너지의 현황과 전망, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물, pp.3-60

차상훈 등 (2017), 댐 심층수를 이용한 IDC 냉각시스템의 성능 분석, 한국신재생에너지학회 학술대회논문집, 한국신재생에너지학회, p.204

한국수자원공사 (2014), 온도차냉난방 사업모델 개발 및 타당성 조사용역, pp.1-449

한강홍수통제소 하천수 사용 관리시스템(<http://ras.hrfco.go.kr>)

한국환경정책·평가연구원 (2014), 하천 방류수 수온의 수생태계 영향조사 및 적정관리방안 연구(최종보고서), 환경부, pp.1-186

K-water 보도자료 (2016. 4. 25), K-water, 물에서 얻는 ‘수열에너지’ 활용방안 마련에 나서

이송원 (2016. 6. 2), [뉴 테크놀로지] 광역상수도 原水 활용한 냉난방, 조선일보