온도차 에너지의 냉난방 적용기술

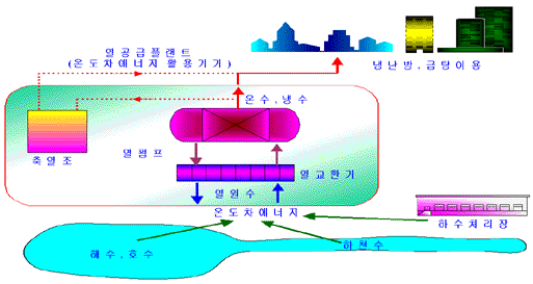
박준택
한국에너지기술연구원
미활용에너지연구센터
책임연구원 / 공학박사
jtpark@kier.re.kr

온도차 에너지는 현제 지역열공급 열원, 공장·사업장 등의 열원, 단위 건물 냉난방·급탕용 열원, 온실재배·수산 양식장용 열원, 도로 융설용열원 등으로 다양하게 이용되고 있으나, 주로 대규모 지역열공급 열원으로 이용되고 있다. 온도차 에너지의 이용은 에너지의 97% 이상을 해외에 의존하고 있는 우리나라에 있어서 국산 에너지로서의 에너지 공급구조의 다양화를 비롯한 에너지 문제와 환경문제를 동시에 해결하는데 크게 공헌할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 따라서 본 고에서는 온도차 에너지의 이용분야 중 단위 건물의 냉난방 적용기술 및 이용사례을 중심으로 소개하고자 한다.

Ⅰ. 온도차 에너지의 이용 개념 및 특징

기온과 약간의 온도차가 있는 하천수, 해수, 하수처리수 등의 열을 열펌프(Heat Pump)로 회수하여 [그림 1]과 같이 건물 냉난방, 급탕 등에 이용하는 경우를 지칭하고 있다.

온도차 에너지는 열수요가 많은 도시지역에서 풍부하게 얻을 수 있는 비고갈성 에너지 자원이며 그 활용이 도시환경에 생태학적으로 크게 영향을 미치지 않으며 열을 얻을 때에 연료를 연소하지 않는

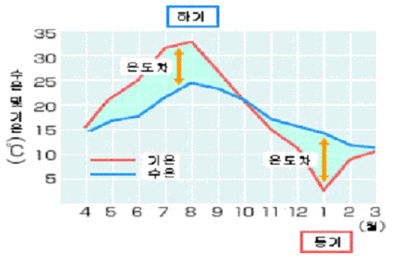


[그림 1] 온도차 에너지의 이용개념

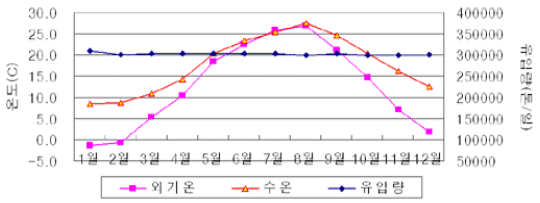
환경친화형 청정자원인 동시에, 공공성 에너지 자원이라는 특징을 가지고 있다.

하천수, 해수, 하수처리수 등의 수온은 [그림 2]에서 보는 바와 같이 기온과 약간의 온도차를 가지고 있다. 지역에 따라 다르나 일반적으로 여름철에는 기온보다 약 5℃ 정도 낮고, 겨울철에는 기온보다 약 10℃ 정도 높다. 뿐만 아니라 대기온도에 비해 연간, 일간을 통해 온도변화가 적다는 열원으로서 매력적인 특징을 가지고 있다.

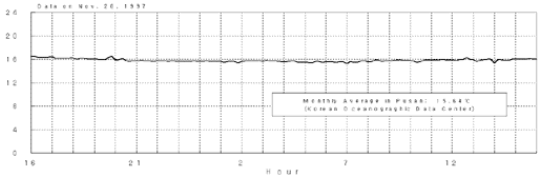
다음의 [그림 3]은 대전광역시 원촌 하수처리장을 예로하여 하수처리수량, 방류수온, 외기온도의 월변화를 나타낸 것이다. 연간을 통해 유량변화가 적고



[그림 2] 하천수, 해수, 하수처리수 등의 수온 특성



[그림 3] 하수처리수의 수량, 수온과 기온변화



[그림 4] 해수 표면온도의 일변화

외기온도에 비해 온도변화가 적음을 알 수 있다. 또한 [그림 4]는 부산지역을 예로하여 해수의 일중 온도변화를 나타낸 것이다. 일중 해수온도변화는 ±0.5℃ 이내로 열펌프의 안정적 운전에 좋은 조건이라 볼 수 있다.

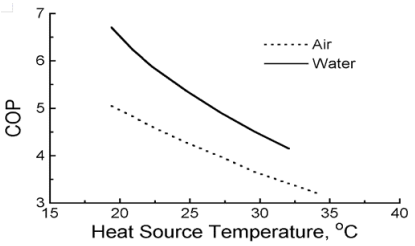
한편, 열펌프의 COP 값은 열원온도가 같다면 물의 비열은 공기보다 커서 공기열원에 비해 수열원의 경우가 높으며, 또한 냉방시에는 열원온도가 낮을수록, 난방시에는 열원온도가 높을수록 COP 값이 높게 됨을 알 수 있다. 따라서 온도차 에너지를 여름철에는 히트펌프의 냉각열원으로, 겨울철에는 가열열원으로 이용하면 기존의 방식(보일러+냉동기, 공기열원 히트펌프)에 비해 고효율로 냉난방이 가능하게 된다. [그림 5]는 수열원 및 공기열원 열펌프의 COP의 일례를 나타낸 것이다.

Ⅱ. 온도차 에너지 이용시스템 적용기술

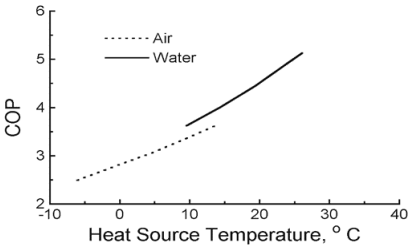
온도차 에너지 이용 냉난방시스템의 도입을 검토하는 대상 건물에 있어서 이용할 수 있는 온도차에너지를 선정하여 그 온도, 부존량, 변동상황, 기타 특성을 파악한다. 또한 온도차 에너지원에서 열공급 플랜트까지의 배관루트를 설계한다. 각 온도차 에너지에 관해서 현상파악, 검토를 요하는 항목은 다음과 같다.

① 하천수 : 수질이나 유량·수온의 계절변동치, 취수장소, 이용 가능수량, 배관루트 등
② 해 수 : 수질·수온의 계절변동치, 취수장소, 배관루트 등
③ 하 수 : 미처리하수(펌프장, 하수간선, 처리장)나 하수처리수(처리장)의 유입량(처리배출량), 수온·수질의 계절변동치, 이용 가능수량, 배관루트 등

한편, 온도차 에너지는 직접 냉방, 난방, 급탕용에 활용할 수가 없기 때문에 열펌프나 냉동기의 열원 및 냉각수로 사용하여 이용할 수가 있다. 그러나 온도차 에너지는 일반적으로 수질에 문제가 있으며, 냉동기나 열펌프에 송수하기 전에 여과기 등 전처리 장치가 필요하다. 이들의 성능은 온도차 에너지의 종류, 취수위치에 의해 다르며 열교환기는 부식성의 수질인 경우에 냉동기(혹은 열펌프)를 보호하기 위해 온도차 에너지를 직접 송수하지 않도록 설치한다. 여과기는 열원수의 오염물 제거를 위해 설치하며, [그림 6]은 종래 시스템과 온도차 에너지 이용 시스템의 일례를 나타내고 있다. 온도차 에너지 이

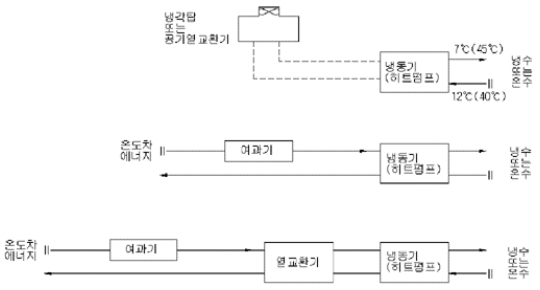


(냉방)

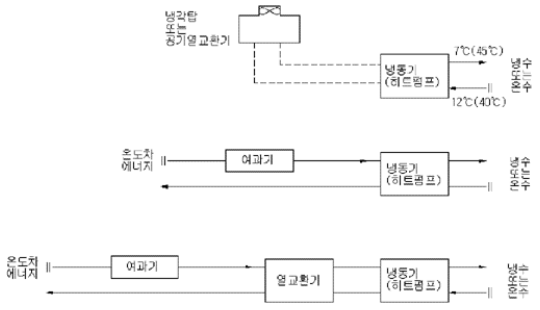


(난방)

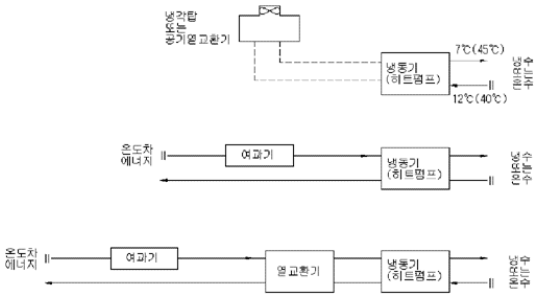
[그림 5] 열펌프의 COP 예



(a) 종래 시스템



(b) 온도차 에너지 활용 시스템의 예 (직접방식)



(c) 온도차 에너지 이용 시스템의 예 (간접방식)

[그림 6] 종래 시스템과 온도차 에너지 이용시스템의 비교

용 열펌프 시스템에 있어서 취수 및 열교환방식은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 검토사항이다. 특히, 해수 등 오염 부식성의 열원수인 경우 열교환기 오염방지 및 부식대책, 해양생물 부착방지 등 전처리설비가 필요하다. 열원수의 열교환방법은 직접 열펌프에 보내 열교환을 행하는 직접방식과 수열을 직접 열펌프에 보내지 않고 일단 열교환기에서 열교환하여 이용하는 간접방식이 있다.

[표 1]에 나타낸 바와 같이 장단점을 가지고 있으므로 조건에 따라 선택적으로 채용되며 수열원과의

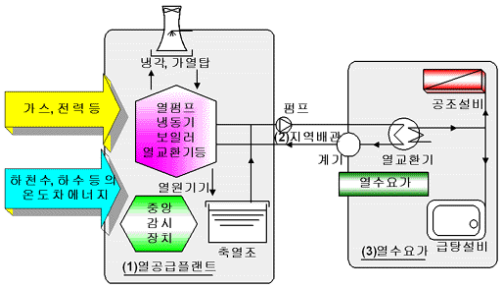
[표 1] 열원수 열교환방식 비교

간 접 열교환 시스템	장 점	• 열교환기에 의해 오염수로부터 분리되어 있기 때문에 열펌프에는 순환수가 이용 가능함 • 열교환기의 세정이 비교적 용이하며 전체의 유지관리도 직접 이용시스템에 비하여 용이함 • 수배관계를 짧게 할 수 있기 때문에 배관 재료비가 저렴함
	단 점	• 냉방시 열펌프의 응축온도가 높아 직접 이용보다 효율이 낮음 • 판형 열교환기 및 순환수 펌프가 추가적으로 필요하며 기계실의 공간이 증가됨
직 접 열교환 시스템	장 점	• 냉방시 응축온도를 낮게 할 수 있기 때문에 간접 이용보다 효율이 높음 • 열교환기가 불필요하기 때문에 설비공간이 적게 소요됨
	단 점	• 해수에 의해 열펌프의 응축기가 급속히 부식될 우려가 있음 • 열펌프가 고가임 • 오염수에 함유된 이물이나 생물이 열펌프 중에 유입될 가능성이 있으며, 열펌프 응축기의 세정은 판형 열교환기보다도 어려움 • 수배관 계통이 길게 되고 배관계의 설비비나 유지관리 비용이 더 소요됨

열교환을 직접적으로 행할 경우(직접방식)는 열펌프의 열교환기, 배관 등에 내부식 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 직 · 간접방식 어느 경우에 있어서도 고효율 운전을 유지하기 위해서는 스트레이너에 의한 고형물 제거가 필요함과 동시에 열교환기, 배관 등에 부착하는 슬라임 대책 등 수질대책이 중요하다. 통상 고형물 제거로는 자동여과 및 세정장치를 도입하게 되면 시설의 효율 유지에 크게 기여할 수가 있다. 이와 같이 하천수, 하수 및 해수 등과 같은 온도차 에너지를 열원으로 하여 단위 건물의 냉난방 열원으로 이용할 수 있는 적용 시스템의 구성기술에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 열원기기

온도차 에너지는 주로 30℃ 이하의 저온열원이므



[그림 7] 열공급 시스템 구성

로 냉난방 · 급탕용 열공급원으로 이용하기 위해서는 일단 냉동기 및 열펌프와 같은 열원기기를 사용하여 냉열 및 온열제조 등이 필요하다. 이와 같은 열원기기의 성능은 냉난방용 열량이 동일하다면 성적계수(COP)가 클수록 에너지가 적게 소요되어 경제적이다. 따라서 공기열원보다 온도차 에너지를 열원으로 이용할 경우 성적계수가 높게 나타나므로 매우 경제적이다. 이와 같은 열원기기로는 터보식 냉동기, 흡수식 냉동기, 수열원 열펌프, 가스흡수식 열펌프 및 가스엔진 구동 열펌프 등이 있다.

(2) 건물 열공급 적용기술

① 시스템 구성

열공급 시스템은 [그림 7]과 같이 열공급 플랜트, 지역배관 및 열수요가로 크게 구분할 수 있으며 이 중에 열공급 플랜트는 열펌프 등의 열원기기를 사용하여 온수나 냉수를 제조하여 공급하는 장소이며, 플랜트 내에는 열원기기들 사이에 서로 다른 에너지 소비의 평준화나 열원기기 운전의 고효율화를 위해 설치된 축열조나 공기와 열을 빼내고 얻는 냉각 · 가열탑, 열원시스템 등의 제어 · 감시를 행하는 중앙제어 감시장치가 설치되어 있다.

② 시스템 적용

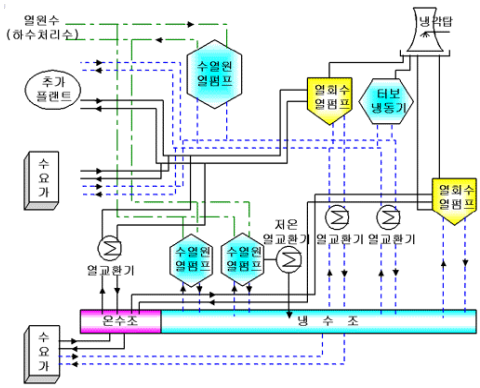
온도차 에너지 열원별로 열공급 시스템에 적용할 예를 나타내면 다음과 같다.

• 하수처리수

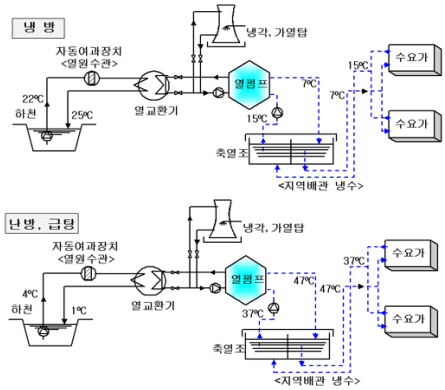
하수처리수를 열공급 플랜트로 반송하고 자동여과장치에 의해 오염물질을 제거한 후 열펌프로 통과시켜 열원수로 이용한다. 열이용후 하수처리수는 다시 하수처리장으로 보낸다. 하수처리수의 에너지 절약효과는 공기열원 열펌프에 비해 약 20%의 소비에너지가 절감되고 있는 것으로 보고되고 있다. [그림 8]은 하수처리수 열원 열공급 시스템의 개략도를 나타내고 있다.

• 하천수

도시지역 인근에 위치하고 있는 하천수를 하절기에는 냉동기의 냉각수로서 냉수 제조로 활용하고, 동절기에는 열펌프의 열원으로 하여 온수를 제조할 수 있도록 하였다. 하천수의 이물질을 자동여과장치로 제거한 후 열회수용 열교환기로 직접 보내져서 이곳에서 회수된 열을 열펌프의 열원으로 사용할 수



[그림 8] 하수처리수 열원 열공급 시스템의 개략도



[그림 9] 하천수 열원 열공급 시스템의 개략도

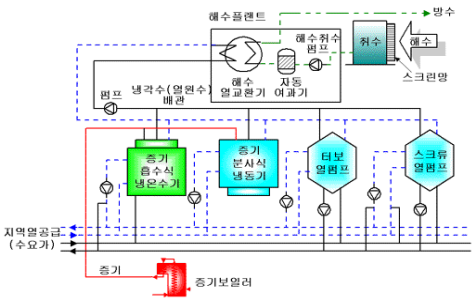
있도록 하였다. 따라서 열펌프에는 오염되지 않은 깨끗한 물이 보내지도록 한 것이며 하천수의 취수와 방수의 온도차는 3℃로 하고 있다. 이 시스템에서도 에너지 이용효율이 약 20% 정도 향상된 것으로 나타나고 있으며, [그림 9]는 하천수 열원 열공급 시스템의 개략도이다.

• 해수

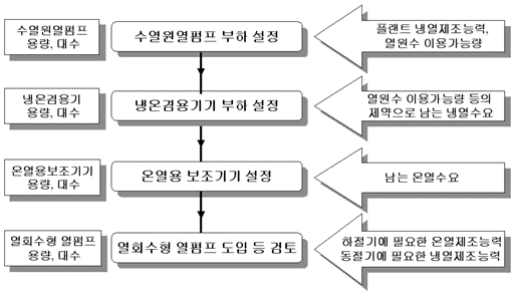
항만시설에 인접되어 있는 장소의 인근에서 해수를 취수하여 열펌프 열원용 급수와 열교환 시킨 후 방류된다. 이용된 해수는 자동여과장치를 통과하면서 이물질이 제거된 다음 자동세정장치에 의해 미세한 오염물이 다시 제거된 후 티타늄제 열교환기로 유입된다. 열교환된 급수는 터보 열펌프, 스크류 열펌프, 증기흡수 냉동기 및 냉온수기의 열원수 또는 냉각수로 사용된다. 해수열 이용에 의해 냉각탑 방식 대비 연간 약 10%의 1차 에너지 소비량을 저감시킬 수 있으며, 또한 냉각탑을 사용하지 않으므로 물 사용량을 95% 줄일 수 있다. [그림 10]은 해수열원 열공급시스템의 예를 나타낸 것이다.

③ 이용기기의 선정

온도차 에너지를 열원으로 하여 건물 열공급에 필요한 냉열 및 온열을 제조할 수 있는 적절한 열원기기의 종류, 용량을 선정하여야 한다. 기기의 선정에는 반드시 공급 개시 후에 부닥칠 열부하 발생량의 추이를 예측하고 온도차 에너지를 유효하게 활용할 수 있어야 하며 기기의 가동율이나 경제성 그리고 사용하는 전기 · 가스 등과 같은 에너지의 배분



[그림 10] 해수 열원 열공급 시스템의 개략도



[그림 11] 열원기기의 선정방법

등을 고려하지 않으면 안된다.

공급 대상건물의 열수요를 미리 확인하고, 에너지의 유효 이용면이나 경제성 등을 종합적으로 고려하여 최적의 열원기기를 결정하여야 한다. 또한, 연간을 통해 시간단위로 열수요발생 예측이나 설비비, 에너지 비용 등의 상세한 모든 조건을 고려하여 시뮬레이션 할 필요가 있다. [그림 11]은 냉열부하가 더 큰 경우에 열원기기를 선정하는 방향을 제시하고 있다.

• 수열원 열펌프

먼저 하천수, 해수, 하수 등과 같은 온도차 에너지를 이용하는 수열원 열펌프의 용량 등을 설정한다. 단, 하천수 등의 취수가능량으로 규정한 열원을 가지고 열펌프의 용량을 최대로 올릴 수 있는 열량을 수열원 열펌프의 부하로 정할 수 있다. 역시 수열원 열펌프의 냉열 제조능력 및 냉열 제조시 COP로부터 열펌프를 구동하는데 필요한 전동기 출력은 다음과 같이 구한다.

수열원 열펌프 전동기 출력(kW)=플랜트 냉열제조능력(Mcal/h)÷냉열제조시 COP÷0.86(Mcal/kW)

용량이 결정되면 저부하시 운전효율 향상과 신뢰성 향상을 나타내보고 중간기 등 경부하시 열수요량이나 공급개시 떨어지는 부하를 예측하여 열수요가에게 원활히 공급할 수 있도록 여러 대를 나누어서 설치한다.

실제 기기의 도입은 예를 들면 공급개시 초기에 어느 정도까지는 수요가의 증가가 예측되므로 제2기나 장래 최종 추가로 설치할 것을 고려하여 분할하도록 한다. 즉, 하천수 등의 취수가능량과 그것에 의

해 규정된 수열원 열펌프의 부하관계는 아래와 같이 구할 수 있다.

냉열 제조시 : 열원수량(m^3/h)=(냉방 COP+1)÷냉방 COP÷열원수 이용 온도차(℃)×냉열 제조능력(Mcal/h)

온열 제조시 : 열원수량(m^3/h)=(난방 COP-1)÷난방 COP÷열원수 이용 온도차(℃)×온열 제조능력(Mcal/h)

• 냉온 겸용기

온도차 에너지 이용 가능량이 충분히 있는 경우에는 앞의 플랜트에서 구한 냉열 제조능력 또는 온열 제조능력은 공급하는 일이 가능하지만 이용가능한 하천수 등의 제약에 의해서 또는 기기의 가동율 등을 고려해서 열펌프 용량을 정할 경우에는 다른 열원기기로 열수요를 파악해서 명확하게 하여야 한다.

적용하고자 하는 냉온 겸용기의 냉열 제조시 및 온열 제조시의 성적계수를 고려하고, 여기서 부족하게 나타나는 냉열용량을 더해서 냉온 겸용기를 선정한다. 냉온 겸용기로 하는 것은 공기열원 열펌프가 냉온수 발생기로부터 선정되기 때문이다. 냉온수 발생기를 선택하는 경우에는 보일러 또는 증기가 공급되지 않는 경우에 가스를 직접 분사시켜 사용하는 것을 택한다.

냉온 겸용기 능력(Mcal/h)=플랜트 냉열제조능력(Mcal/h) - 수열원 열펌프(냉열) 능력(Mcal/h)

용량이 결정되면 저부하시의 운전효율 향상과 신뢰성 향상을 꾀하고, 중간기의 열수요나 공급개시에 떨어질 것으로 예측되는 열수요의 분담 등을 고려해서 여러 대를 분할하여 설치한다.

• 온열용 보조기기의 선정

여기서 냉온겸용기까지 선정한 열원기기로 동절기의 온열수요를 공급할 수가 있는가를 확인한다. 수열원 열펌프의 온열 제조능력은 다음 식으로 구한다. 온열수요를 공급하기에 부족하게 되는 경우에는 보일러 등의 온열용 보조기기를 도입하든가 앞에서 언급한 냉온겸용기 또는 수열원 열펌프의 용량을 온열수요에 맞추어 크게 한다.

수열원 열펌프 온열제조능력(Mcal/h)=전동기 출력(kW)×온열제조시 COP×0.86(Mcal/kW)

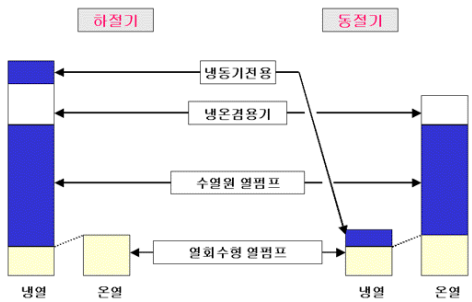
• 열회수형(냉온 동시 취출시) 열펌프 등의 검토

도시의 온도차 에너지는 보편적으로 많은 양이 부존하고 있고 열을 제조하는 경우 열펌프의 운전에 의한 배열, 즉 냉열제조시의 온배열, 온열제조시의 냉배열도 있다. 하절기의 온열수요나 동절기의 냉열수요도 있고 축열조가 시스템에 조합되어 있을 때에는 이와 같은 배열을 유효하게 이용할 수가 있으며 고효율 운전이 가능한 배열회수형 열펌프를 활용할 수가 있다.

이와 같은 능력은 예정된 수요가 상황에 따라 명백해지고, 열수요가 높게 파악된 단계에서는 하절기에 발생되는 온열 수요 및 동절기에 발생되는 냉열수요의 밸런스나 각 열원기기의 예측 가동상황 등을 근거로 하여 결정한다. 온열운전 및 냉열운전의 밸런스가 유지되지 않는 경우에는 가열·냉각탑 또는 열원수로 대응하는 것이 좋다.

열회수형 열펌프의 용량을 설정하고, 그와 비슷한 수열원 열펌프 등 다른 열원기기의 용량을 조정한다. 또한 이들 사이에는 에너지 효율, 경제성, 사용에너지 최선의 혼합 등의 관점으로부터 공기열원 냉동기 또는 이중 효용 흡수식 냉동기라 불리는 전용 냉동기의 도입을 검토할 수도 있다. 따라서 [그림 12]는 열원수 이용시 열원기기 구성과 능력분담 예를 나타내고 있다.

III. 온도차에너지의건물냉난방이용사례



[그림 12] 열원기기 구성과 능력분담 예

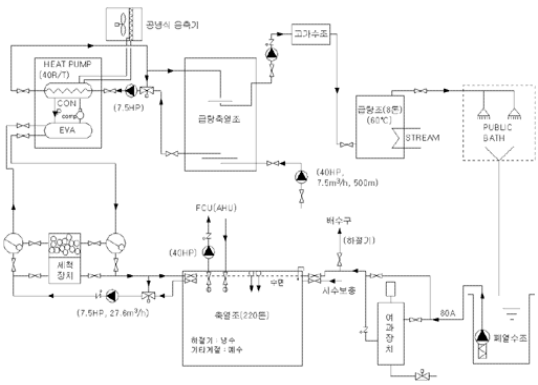
3.1 국내

1995년 한전 속초생활연수원에서 배출되는 생활배수를 열원으로 하여 급탕과 냉방에 이용한 사례가 있으며, 1996년에는 서울 탄천 하수처리장의 하수처리수를 이용하여 하수처리사업소 내의 건물의 냉난방열 공급을 시도한 사례가 있다. 그리고 2004년에는 경주 토비스콘도의 생활배수를 이용한 냉난방 열공급사례가 있다. 이하 속초생활연수원의 생활하수 및 탄천하수처리장의 하수열 이용사례에 대해 구체적으로 소개하고자 한다.

(1) 속초생활연수원의 생활하수열 이용사례

속초에 있는 한국전력공사의 생활연수원에 설치된 생활배수를 이용한 열펌프 시스템으로서 이 시스템은 하절기에는 냉수를 생산하면서 동시에 온수를 생산하고, 비하절기에는 건물로부터 배출(주로 사우나, 욕조 등)되는 폐수를 열펌프의 열원으로 사용해서 온수를 생산하는 시스템으로 주로 값싼 심야전기를 이용하기 위한 시스템이다.

[그림 13]은 온수급탕용 급수로 사용될 경우의 한전 속초생활연수원에 설치된 시스템 개략도이다. 하절기에는 심야전력을 이용하여 열펌프를 가동하여 축열조의 냉수를 증발기측으로 순환시켜 축열조의 온도를 7℃로 만들어 주고, 이때 응축기의 냉각수는 급탕 축열조로부터 공급되어 급탕 축열조의 하단부 온도가 50℃가 되면 냉각수는 급탕 축열조로부터 공



[그림 13] 한전연수원 생활배수 이용 열펌프 시스템 개략도

급이 중단되고 냉매를 공기식 냉각탑으로 순환시켜 계속해서 냉열을 발생시키도록 하였다. 냉방부하가 있을 경우 냉수의 공급은 심야시간에는 열펌프의 증발기를 거쳐 나온 냉수와 축열조의 하단부의 냉수가 함께 공급된다. 이것은 열펌프의 냉수유량이 건물의 냉수유량보다 적기 때문에 냉수 축열조로부터 일부가 공급되는 것이다. 비심야시간에는 냉수는 축열조로부터 공급되고 부족할 경우에 한해서 열펌프가 작동되어 야간의 경우와 마찬가지로 공급된다.

그런데 열펌프는 과부하상태에서 장시간 운전되는 것을 방지하기 위해서 그림에 표시된 바와 같이 증발기로 유입되는 냉수온도는 10 15℃, 응축기측 유입온도는 40 45℃로 조절되도록 응축기와 증발기 입구에 3방 밸브(3-way valve)를 설치하였다. 냉열생산시 열펌프 응축기에 의해 예열된 급탕 축열조의 온수는 고가수조를 통해 급탕조로 보내져 보조열원인 증기 열교환기에 의해 60℃까지 가열되어 급탕으로 이용된다.

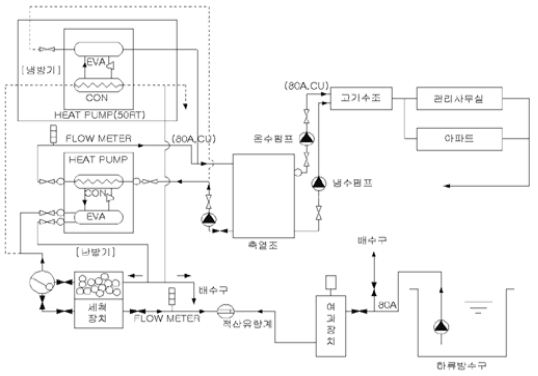
냉방이 필요없는 계절에는 하절기와는 반대로 목욕탕 등에서 배수되는 폐수를 열펌프의 저온열원으로 사용하여 급탕 축열조의 물을 가열한다. 따라서 폐수저장조가 필요하다.

그러나 폐수저장조는 하절기에 냉축열조로 이용되는 축열조가 하절기 이외에는 필요가 없으므로 1년에 한번 청소를 해줄 경우 폐수저장조로 이용할 수 있다. 이 저장조로부터 폐수가 열펌프의 증발기로 유입되며, 동시에 급탕 축열조로부터 물이 응축기로 유입되어 응축열에 의해 승온된다. 이 경우도 하절기에서와 마찬가지로 열펌프의 과부하운전을 방지하도록 응축기 및 증발기로 유입되는 열매체의 온도가 그림에 있는 바와 같이 각각 10 15℃와 45 50 ℃로 조절되도록 하였다.

설치된 열펌프의 용량은 40RT이며, 비하절기에 폐수의 온도는 28.5 37.5℃, COP는 약 3.03으로 운전되었으며 하절기에 ‘ 급탕 + 냉방 ’ 모드로 작동할 경우는 COP가 4.0 4.5 정도로 운전되었다. 따라서 투자비 회수기간은 약 4.0년으로 평가되었다.

(2) 탄천 하수처리장의 하수열 이용사례

서울의 탄동 하수처리에 시범적으로 설치되어 있는 하수 열원 열펌프 시스템의 개략도는 [그림 14]와 같으며 이 시스템은 크게 ① 여과장치, ② 세척장치, ③ 열펌프 시스템, ④ 축열조로 구성되어 있다. 하수는 난방기에는 열원으로, 냉방기에는 응축기의 냉각수로 이용되도록 되어 있다. 열원인 하수는 여과장치로 이송되어 고형 이물질이 제거된 후 전열관의 자동세정장치를 거쳐 하수열 열교환기에서 열교환이 이루어진 후 방류구로 배출된다. 열펌프에서 소정의 온도로 승온(냉각)된 온수(냉수)는 축열조에 저장된 후 열수요처의 부하에 공급되도록 되어 있다. 열펌프의 증발기와 응축기는 운전모드가 바뀔 때마다 상호역할을 바꾸어 사용하면 냉난방의 목적을 동시에 달성할 수 있으나 본 시스템의 경우 실제에 있어서는 운전모드의 변경시마다 열교환기를 세척해야 되고, 열교환기의 구조상 겸용으로 하는 것은 문제가 있으므로 동일한 열교환기를 사용하는 것이 효율적이지 못하여 응축기와 증발기를 냉난방 운전모드의 전용으로 사용할 수 있도록 특수한 구조로 설계되었다. 하절기에는 하수를 응축수로 사용하는 냉방모드로 운전하여 축열조에 약 7℃의 냉수를 저장한 후 냉방부하가 발생하는 주간에 이것을 이용하도록 하는 한편, 냉방부하에 충분히 대응할 수 없거나 야간에 부하가 발생하면 열펌프 시스템을 가동시켜 증발기로부터 얻어지는 냉수를 직접 냉방기에 공급되도록 하였다. 동절기에는 하수를 열원으로 하여 급탕용과 난방용 온수를 축열조에 저장한 후 부하측의 수요에 맞추어 공급되도록 하였다. 축열조는 냉난방기에 겸용으로 사용하기 위하여 편의상 수축열방식을 채택하였다. 압축기는 40RT 스크류 압축기, 냉매는 R-22를 사용하였으며 하절기에 열원수의 온도가 20 25℃일 때 냉수온도 7℃, 성적계수 3.2 3.5를 목표로 설계하였고, 동절기에는 열원수의 온도가 8 12℃일 때 온수온도를 50℃, 성적계수는 4.0 4.5를 목표로 하였다. 따라서 운전비용만으로 기존의 냉난방 시스템과 비교하였을 때 약 30%의 에너지



[그림 14] 탄천 하수처리장의 하수열원 열펌프 시스템 개략도

절약이 가능한 것으로 분석되었으며, 초기 투자비용은 하수열원 열펌프 시스템의 축열률이 60%일 때 가장 경제성이 높게 나타났다.

3.2 국외

유럽을 비롯한 일본 등에서는 온도차 에너지를 주로 대규모 지역열공급 열원으로 이용하고 있다. 이하에서는 온도차 에너지 이용사례 중 단위 건물의 냉난방 열원으로 이용되고 있는 몇 가지 사례를 열원별로 소개한다.

(1) 해수

① 노르웨이의 Trondheim에 있는 Royal Gardon Hotel은 건물이 유리된 공간이 많아 겨울은 열손실이 크고 여름은 필요 이상으로 열취득이 많다. 또한 연간을 통해 온수수요가 있어 해수열원 히트펌프를 도입하게 되었다. 시스템은 히트펌프 2대로부터 최대 열공급 900kW, 최대 냉각능력 600kW로 설계되었다. 각 히트펌프는 과열/과냉각용 열교환기가 있어 온수/난방수요에 대응하고 있다. 해수와 증발기내의 작동 유체간의 열교환기는 1개의 열교환기 내에서 직접 행해진다. 연간 2,200MWh의 에너지가 절감되어 2년간에 회수된 것으로 보고하고 있다. (보다 상세한 내용은 http://caddet-ee.org에서 검색)

② 노르웨이의 Kristiansand에 있는 Skeiebygget는

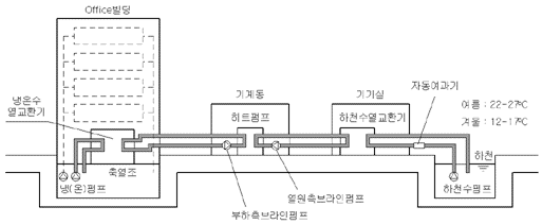
1987년에 완공된 사무실(75%)과 작업장(25%)으로 된 건물로서, 난방면적은 9,440m²이다. 여기에 냉난방을 보다 융통성이 있고 경제적인 것으로 하기 위해 열원으로 해수를 이용한 히트펌프를 설치하였다. 이 건물에는 중앙제어시스템이 구비되어 있다. 투자금액은 NOK 678,000이며 에너지 절감액은 연간 NOK 300,000(USD 45,000), 투자회수기간은 약 3.5년이다. (보다 상세한 내용은 http://caddet-ee.org에서 검색)

③ Stokmarknes의 15,000m²의 병원에 해수를 열원으로 한 히트펌프를 설치하였다. 히트펌프의 최대능력은 400kW이고, 2.5GWh/y의 열수요 88%를 담당하고 있다. 해수는 수심 8m에서 취수되고 0~14℃의 온도변화가 있다. 온수온도는 55~65℃이고 부식문제는 일어나지 않는다. 에너지 절감량은 1,235,000kWh/y이고, COP는 2.6이었다. 설비비는 1.7백만NOK/kWh, 자금회수기간은 전기난방에 비해 7년, 석유난방에 비해 약 9년이다. (보다 상세한 내용은 http://caddet-ee.org에서 검색)

④ 1982년에 해수를 열원으로 한 히트펌프가 Favus-grden에 건설되어 5,500m² 5층 건물의 난방에 사용되었다. 히트펌프의 능력은 120kW이고, 연간 에너지 소비량 550,000kWh의 94가 히트펌프에서 공급된다. 출력온도는 외기온도보다 35~45℃ 사이에서 제어된다. COP는 3.5fh 온도상승은 36℃이다. 히트펌프의 전력소비량은 약 147,000kWh/y이며, 에너지 절감량은 368,000kWh/y이다. 설비비는 480,000NOK, 에너지비는 0.26NOK/kWh로 전기난방에 비해 자금회수기간은 3.5년이었다. (보다 상세한 내용은 http://caddet-ee.org에서 검색)

(2) 하천수

① 나고야시에서는 NEDO(신에너지 산업기술개발종합개발기구)에서 추진한 하천수 이용 열펌프 시스템을 14,000m²의 건물에 적용하여 하절기 COP가 6.4, 동절기 COP는 5.0를 얻을 수 있는 고효율 열펌프 시스템을 1994년 1월에 Horikawa강에 적용하였다.



[그림 15] 나고야시의 堀川 이용 열공급 시스템도

본 시스템의 개략도는 [그림 15]와 같이 저온에서 하천수열을 회수하기 위한 열전달 및 열회수장치의 개발에 많은 노력을 기울여 이중회로로 시스템을 구성하여 시스템의 안정성을 많이 고려하였으며, 시스템 성능사양은 [표 2]와 같다. 열교환기인 응축기와 증발기 모두 냉매의 온도차는 5℃를 유지하였고 브라인의 온도차는 5℃~12℃로 변화시켰을 때, 시스템의 성적계수는 5℃에서 4.7, 8℃에서 최대값인 5.94, 12℃일 때 5.3의 포물선 성능을 나타냈다. 강물의 사용량은 242m³/h였고 일일 사용량은 2,490m³/일이었다. 냉수 저장조 및 온수 저장조의 크기는 각각 1000m³과 600m³이었고, 열교환기의 형태는 모두 판형 열교환기였다.

② 일본의 리버워크 키타큐슈(北九州)는 키타큐수시 고쿠라에 위치한 다목적 산업공간으로 복합 열공급 시스템과 하천수 열원 이용 열펌프 시스템을 설치하여 에너지 절약과 환경오염 감축효과를 달성하였다. 리버워크 키타큐슈의 열공급센터는 각 시설에 냉수, 온수를 연간 24시간 공급하고 있다. 이 열공급센터의 특징은 하천수 이용과 전기, 가스를 최적으로 조합한 것이다. 하천이 부지에 인접하는 것을 고려하여 미활용 에너지인 하천수를

[표 2] 堀川 이용 열공급 시스템의 성능사양

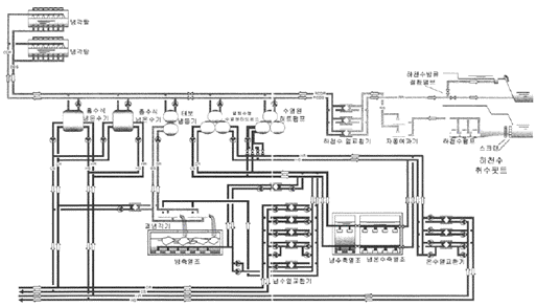
구 분	냉 방	난 방
열출력온도	7.0℃	45.1℃
열원온도	32.1℃	10.0℃
성적계수	7.1	6.2
열 출 력	1,201kW	1,345kW
작동매체	HCFC-22/HCFC-142b (79/21)	

[표 3] 리버워크 키타큐슈의 열원기기 용량

열원기기 명칭	냉각능력	가열능력
1. 수열원 히트펌프	450RT	1,400Mcal/h
2. 열회수형 수열원 히트펌프	300RT	950Mcal/h
3. 가스 흡수식 냉동기	400RT×2	1,300Mcal/h
4. 브라인 터보 냉동기	960RT	
5. 냉수 축열조 (1,080m³)	250RT	
6. 냉온수 축열조 (2,160m³)	500RT	1,512Mcal/h
7. 빙축열조 (400m³)	550RT	
합 계	3,810RT	6,462Mcal/h

(주) 하천수를 이용하는 열원기기는 수열원 히트펌프와 열회수형 수열원 히트펌프임

열원수로 하여 이용하고 있다. 또한 온도 성층형 수축열 방식과 빙축열 방식을 채용하는 것에 의해 전력부하 평준화에 기여함과 함께, 가스방식 병용으로 2가지 열원에 의한 신뢰성 확보와 운전비 저감을 도모하고 있다. 수열원 히트펌프는 스크류 타입이며, 냉동용량은 450RT, 난방시 1,400 Mcal/h이며, 동절기 난방용으로서는 55℃까지 온수를 제조할 수 있다. 또한 하천수 열교환기의 하루 취수량은 6,120m³/day ~ 14,688,m³/day이다.



[그림 16] 리버워크 키타큐슈의 열원시설 개략도

[표 3]은 열원기기 용량이며, [그림 16]은 열원시설 개략도를 나타낸 것이다. 하천수 이용방식과 냉각탑 방식의 특성을 비교하면, 전자를 이용한 경우 소비 에너지가 약 7% 감소되며, 환경오염 저감(NOx : 6.0%, SOx : 9.0%, CO_2 : 7.0%)이 가능한 것으로 나타났다. 본 계획에 있어서 하천수 이용기기의 기여율은 38%이다.

(3) 하수

[표 4]에는 일본에서의 하수열을 이용한 하수처리장 관리동 냉난방 사례를 나타낸다. 주로 하수가 처리된 처리수를 히트펌프의 열원으로 이용하고 있다.

[표 4] 일본에서의 하수열 이용 공조사례

No	처리장명	관리자	냉방/난방용량 [Mcal/h]	하수의 종류	운전개시
1	等等力 환경센터	川岐市 하수도국	300/300	처리수	1982년
2	樂合 처리장	東京都 하수도국	530/498	처리수	1986년
3	湯鳥 펌프장	東京都 하수도국	344/126	생하수	1988년
4	中部 하수처리장	橫浜市 하수도국	60/60	처리수	1988년
5	定山溪 처리장	札幌市 하수도국	71/111	처리수	1988년
6	金澤 처리장	橫浜市 하수도국	362/420	처리수	1988년
7	各城 처리장	名吉屋市 하수도국	330.2/360	처리수	1988년
8	木場 펌프장	東京都 하수도국	240/240	생하수	1989년
9	芦屋 하수처리장	芦屋시	116/135	처리수	1989년
10	新河岸 처리장	東京都 하수도국	604.8/580	처리수	1990년
11	今池 처리장	大販府	272/370	처리수	1990년
12	幕場 테크노 가든	東京電力	34,776/35,290	처리수	1991년
13	森森崎 수처리센터	東京都 하수도국	304/292	처리수	1991년
14	露橋 하수처리장	名吉屋市 하수도국	27/34	처리수	1991년

[표 4] 일본에서의 하수열 이용 공조사례 (계속)

No	처리장명	관리자	냉방/난방용량 [Mcal/h]	하수의 종류	운전개시
15	洋蘭센터	東海市 하수도과	53/63.5	처리수	1991년
16	三河鳥 처리장	東京都 하수도국	360/380	처리수	1992년
17	北多摩一號 처리장	東京都 하수도국	110/100	처리수	1993년
18	奈良縣 정화센터	奈良縣流城 하수도사무소	354/350	처리수	1993년
19	小菅 처리장	東京都 하수도국	850/776	처리수	1993년
20	堀留分室	名吉屋市 하수도국	145/162.4	처리수	1993년
21	後樂 펌프장	東京都 하수도국	21,470/26,324	생하수	1994년

IV. 온도차 에너지 이용상의 과제

하수의 경우 지하에 매설된 관거내를 흐르고 있으므로 외기온의 영향을 받는 경우도 적으며 일사, 강우 등의 영향을 받지 않는다. 그러나 하계 수량의 요일에 의한 변동, 계절에 의한 변동 등에 대하여 충분히 검토하여 열부하와의 밸런스 조정이 필요하다. 수온은 비교적 온도가 안정되어 있으나, 하수도가 우수와의 합류식인 경우에는 특히 겨울철 융설시 수온저하에 주의할 필요가 있다. 또한 하수는 주로 생활배수이나 하수에는 각종 오염물질이 포함되어 있으므로 하수처리장에서는 주로 표준 활성 슬러지법을 이용하여 불순물을 제거하여 방류수의 수질기준에 맞도록 배출시키고 있다.

그러나 하수의 수질은 머리카락, 섬유부스러기 등의 고형물질과 Ca, Si, Mg 등 퇴적물을 형성하는 물질이 다량으로 포함되어 있다. 이들 성분이 열교환기로 유입될 경우, 전열성능 저하 뿐만 아니라 기기의 고장 등을 유발시킬 우려가 있다. 따라서 열이용시 직접 열교환기에 접촉시키기 보다는 스트레이너, 세척장치 등이 부착된 기기를 설치하는 것이 바람직하다. 일반적으로 하수처리장은 처리수를 방류하기 위해 하천 또는 바다 가까운 위치에 설치되어 있으므로 반드시 열수요지에 근접하고 있는 것은 아니다. 따라서 처리장의 처리수를 열원으로 이용할 경우 지리적인 제약을 받는다.

하천수의 유량은 계절변화가 크며 강우 등 기후의 영향에 의한 온도변화가 크다는 점에 유의할 필요가 있다. 이용 후의 하천 수온의 변화(냉각시 하천수온 상승, 난방시 하천수온 저하)가 생태계에 영향을 미치지 않도록 연간 하천유량과 이용가능량, 이용온도와 온도확산 등을 충분히 검토할 필요가 있다.

해수는 동결온도가 일반 물에 비해 낮기 때문에 하천수보다 저온까지 열이용이 가능하다. 해수이용시 해역으로의 영향평가에 대해서는 “발전소 냉각수 배수”에 대하여 정해진 “온배수 환경영향 조사지침”에서 어업권이 있는 해역에 대하여 온도상승 범위가 1℃를 초과할 경우 해양생물이나 어업의 영향에 대하여 조사해야 할 필요가 있으며 어업권 지역에 관련된 경우에는 유의할 필요가 있다. 환경영향 배려와 지금까지의 이용사례로부터 배수온도에 대하여 허용온도차는 발전소 복수기 냉각용 해수의 취방수 온도차 허용범위로서 7℃ 이하로 억제하도록 되어 있다.

기존의 해수 이용사례에서는 6℃를 상한으로 설계치가 설정되어 있는 것이 기준이다. 바다 매립지는 도시계획시 해수 취수구와 배수구를 미리 정비할 것과 열수요지 가까이에 취수점을 취할 경우 부식성분을 다량 함유한 해수를 사용할 경우가 많기 때문에 열교환기로부터 해수와 열펌프에 도입되는 열원수와 분리하여 열펌프에 해수열만을 도입하는 형식을 선택한다. 해수는 외기와 10℃의 온도차를 이용하는 것이므로 도중에 열교환기를 설치하면 그 열교환기에 필요한 1~2℃ 정도의 상당한 열이 손실되는 외에 열교환기, 펌프의 부하설비가 초기투자비를 압박하게 된다.

[표 5] 온도차 에너지의 열원별 이용상의 과제

하천수 이용	• 하천수의 유량과 수온의 변화를 정확하게 파악하는 것이 필요 • 열펌프에 의한 온도차 이용의 기준으로서 동절기에는 최대 3℃의 온도차를 이용할 것과 하천 수온은 4℃ 이상이 필요하다. • 하천 관리자로부터 유수점용 허가(수리사용 허가)를 받아야 할 필요가 있다. • 하천수 이용에 있어서는 하천 유황(流況)과 수온의 변화를 예측하여 주변환경에의 영향을 사전 검토할 필요가 있다. 수온 변화가 3℃ 이상 되는 구역에서는 수생생물 등의 영향을 검토하여야 한다. 취수시설을 설치할 경우에는 공작물의 신축허가, 토지의 점유허가 등을 취득할 필요가 있다.
하수 이용	• 생하수, 하수처리수 모두 열교환기 등에 생물이 부착하여 효율을 저하시키기 때문에 그 대책이 필요하다. • 하수도법에서는 하수관 등의 하수가 흐르는 시설에 하수사업 이외의 용도에 사용되는 시설의 설치를 원칙적으로 인정하지 않기 때문에 하수도 시설 관리자의 관여가 중요하다.
해수 이용	• 해수는 열교환기 등의 기기를 부식시키며, 또한 생물부착에 의한 막힘이나 열전도율의 저하를 일으킬 우려가 있기 때문에 재질선정이나 유지관리상 주의가 필요하다. • 해수이용에 있어서는 항만시설 관리자로부터 취수시설 등의 공사허가, 점용허가를 득할 것과 당해 해역에 어업권이 있는 해역에 대하여는 온도상승 범위가 1℃를 초과하는 범위에 대하여 해양생물이나 어업에의 영향을 조사하는 것을 의무로 하고 있다. • 발전소 등에서는 복수기 냉각용 해수의 취수 온도차를 7℃ 이하로 억제하도록 환경영향 기준이 마련되어 있으며, 해수를 열원으로 하는 열공급 시스템에서도 7℃ 이하의 온도차를 설계기준으로 하는 것도 생각할 수 있다.

이상 온도차 에너지 이용상의 과제를 요약하면 [표 5]와 같다. 온도차 에너지 이용의 경우 하천관리자, 항만관리자, 하수도시설 관리자 등의 허가를 얻어야 하는데 온도차 에너지의 공익적 의의가 각 방면에 인식되어 인허가 및 조정과정에서 원활한 진행이 되는 것이 바람직하다. 온도차 에너지로 이용되는 수열원은 열이용의 전후에서 수질, 수량의 변화가 없고 그 온도만 약간 변화하게 된다. 배출 온도에 대한 주변의 영향은 고려해야 하지만 수질, 수량의 영향은 없으므로 환경에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 하천수 관리 행정기관 등은 유수점용(流水占用)이나 공업용수 취수의 경우와는 다른 취급이 필요하다.

(집필자 연락처 : 042-860-3175)