

온도차에너지를 이용한 지역열공급 적용기술

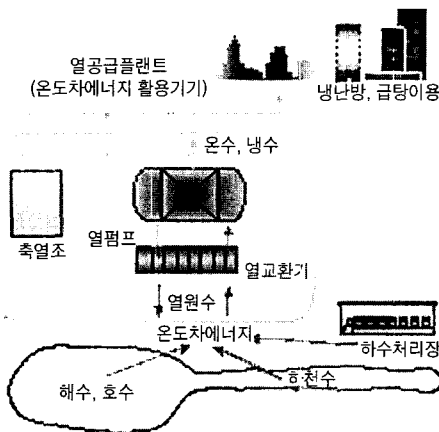
온도차에너지를 이용하여 지역열공급하기 위한 열원의 특성, 열원별 적용기술 및 열원기기의 선정방법 등을 설명하고자 한다.

장기창

개요

온도차에너지(temperature difference energy)란 자연에 존재하는 하천수, 해수, 하수 및 지하수 등과 같이 수온이 통상 하절기에는 대기온도보다 낮고 동절기에는 대온도보다 높으므로 수온과 대기온도와의 약간의 온도차를 이용하는 것으로 이들의 물을 열펌프의 열원수로 이용하여 급탕·난방·냉방 등의 용도에 이용하는 경우를 말한다. 따라서 열펌프의 열원으로서 이러한 온도차에너지의 특성을 이용하면 대기를 열원으로 한 열펌프 방식이나 기존의 보일러, 냉동기 방식보다 고효율로 냉난방열을 공급할 수가 있다. 이와 같은 온도차에너지의 이용개념을 그림 1에 나타내었다.

따라서 대규모 열수요지 근처에 온도차에너지가 존



[그림 1] 온도차에너지의 이용개념

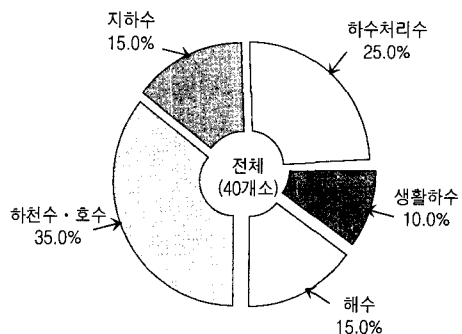
장기창 한국에너지기술연구원 (kcchang@kier.re.kr)

재할 경우 이 온도차에너지를 수열원 열펌프의 열원으로 이용하면 지역열공급사업용으로 활용이 기대되고 있다. 국내에는 아직 온도차에너지를 이용하는 지역열공급사업이 추진된 실적이 없지만 해외에서는 그림 2와 같이 40여개가 보급되고 있으며, 이중에 하천수를 이용한 사업이 35%를 차지하고 있다. 그리고 최근에 기후변화협약 추진과 함께 일본에서는 열공급부문에서의 에너지이용 효율화를 도모하고자 온도차에너지를 이용한 지역냉난방시스템(DHC)의 도입이 도시지역을 중심으로 급증하고 있으며, 일본의 도입실적은 1996년도에 원유환산 3.3만TOE이고, 2010년도 도입목표 58만TOE를 달성하기 위해 적극적인 도입을 도모하고 있다.

온도차에너지의 특성

부존량

국내에서 이용가능한 온도차에너지는 현재 가동중



[그림 2] 해외의 온도차에너지 열원 비율

인 하수처리장 63개소, 연중 유량확보가 가능한 직할 하천 50개소, 해수의 경우 연안의 인구밀집지역 7개소(인천, 부산, 울산, 강릉, 군산, 목포, 서귀포)를 대상으로 온도차에너지 부존지점별 부존량을 산출한 결과 전체 부존량은 표 1에 나타낸 바와 같이 연간 235,380Tcal이며, 이는 우리나라 '96년도 에너지소비량의 17.9%, 가정 및 상업부문 에너지소비량의 74.6%, 가정 및 상업용 냉난방, 급탕 열에너지소비량의 98.5%에 상당하는 막대한 양이다. 이들 온도차에너지원별 부존량은 하천수열이 81.6%로 가장 많고, 그 다음이 해수열 11.5%, 하수열 6.9%의 순으로 나타났다.

수온

온도차에너지의 수온은 통상 하절기에는 대기온도보다 낮고, 동절기에는 대기온도보다 높으며, 뿐만 아니라 대기온도에 비해 연간, 일간을 통해 온도변화가 작기 때문에 열원으로서 매력적인 특징을 가지고 있다.

온도차에너지의 수온조사 결과 지역에 따라 다소 차이는 있으나 통상 하절기에는 21~27℃로 대기온도보다 5℃ 정도 낮고, 동절기에는 5~15℃로 대기온도보다 10℃ 정도 높게 나타났다. 온도차에너지의 열원별 전국 수온평균을 보면 하수는 동절기 11.2℃, 하절기 24.5℃이고, 하천수는 동절기 3~16℃, 하절기 22~28℃이며, 해수는 동절기 2.8~15.9℃, 하절기 16.7~25.7℃로 조사되었다.

열원기기

온도차에너지는 주로 30℃ 이하의 저온열원이므로 냉난방·급탕용 열공급원으로 이용하기 위해서는 일단 냉동기 및 열펌프와 같은 열원기기를 사용하여 냉열 및 온열제조 등이 필요하다. 이와 같은 열원기기의

<표 1> 온도차에너지 부존량

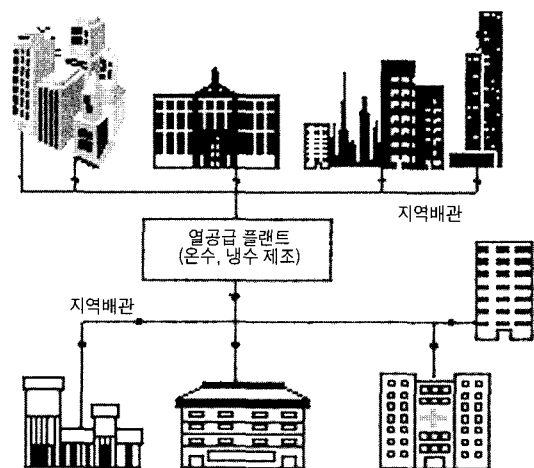
열원종류	부존량(Tcal/년)	구성비(%)
하수열	16,120	6.9
하천수열	192,100	81.6
해수열	27,160	11.5
합 계	235,380	100

성능은 냉난방용 열량이 동일하다면 성적계수(COP)가 클수록 에너지가 적게 소요되어 경제적이다. 따라서 공기열원보다 온도차에너지를 열원으로 이용할 경우 성적계수가 높게 나타나므로 매우 경제적이다. 이와 같은 열원기기로는 터보식 냉동기, 흡수식 냉동기, 수열원 열펌프, 가스흡수식 열펌프 및 가스엔진구동 열펌프 등이 있다.

지역열공급 적용기술

온도차에너지를 이용한 시스템은 종래 사용하지 않는 하천수, 해수 및 하수 등을 지역냉난방용 열원으로 이용함으로써 그림 3과 같이 대규모 빌딩의 냉난방시스템이나 특정지구 다수의 수요가에 냉난방용 냉온수를 공급하는 지역열공급 사업으로 적용시킬 수가 있다.

온도차에너지는 도시지역에 대량으로 부존하고 있지만 일반적으로 ①넓고 희박하게 분포되어 있고, ②온도레벨이 낮고, ③수요와 공급에 시간적 차이가 있고, ④수요지와의 거리가 멀다 라는 등의 공통적 특징을 가지고 있다. 따라서 온도차에너지를 이용하기 위해서는 열의 회수, 저장, 수송 등 기술적인 면에서의 효율향상이 필요하며, 또한 고도의 시스템화 기술이 요구된다.



[그림 3] 지역열공급 개념도

시스템 구성

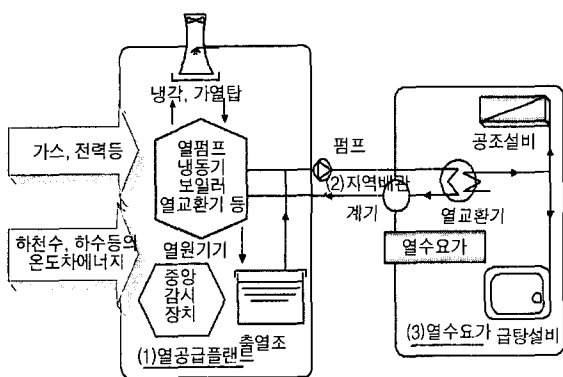
지역열공급시스템은 그림 4와 같이 열공급플랜트, 지역배관 및 열수요가로 크게 구분할 수 있으며, 이중에 열공급플랜트는 열펌프 등의 열원기기를 사용하여 온수나 냉수를 제조하여 공급하는 장소이며, 플랜트 내에는 열원기기를 서로 다른 에너지소비의 평준화나 열원기기 운전의 고효율화를 위해 설치된 축열조나 공기와 열을 빼내고 얻는 냉각·가열탑, 열원시스템 등의 제어·감시를 행하는 중앙제어감시장치가 설치되어 있다.

시스템 적용

온도차에너지 열원별로 지역열공급시스템에 적용한 예를 나타내면 다음과 같다.

· 하수

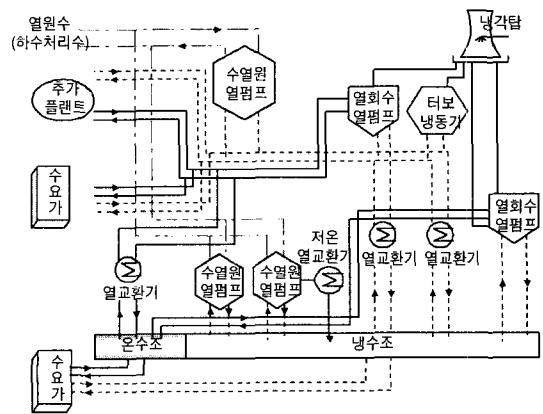
하수처리수의 온도는 15℃(하절기)에서 25℃(동절기)로 계절변화가 작으며, 대기온도에 비해 하절기에는 낮고, 동절기에는 높은 특성을 갖고 있으므로 열펌프의 열원으로 적절하다. 하수처리수를 열공급플랜트로 반송하고 자동여과장치에 의해 오염물질을 제거한 후 열펌프로 통과시켜 열원수로 이용한다. 열이용후 하수처리수는 다시 하수처리장으로 보낸다. 하수처리수의 에너지절약효과는 공기열원 열펌프에 비해 약 20%의 소비에너지가 절감되고 있는 것으로 보고되고 있다. 그림 5는 하수열원 열공급시스템의 개략도를 나타내고 있다.



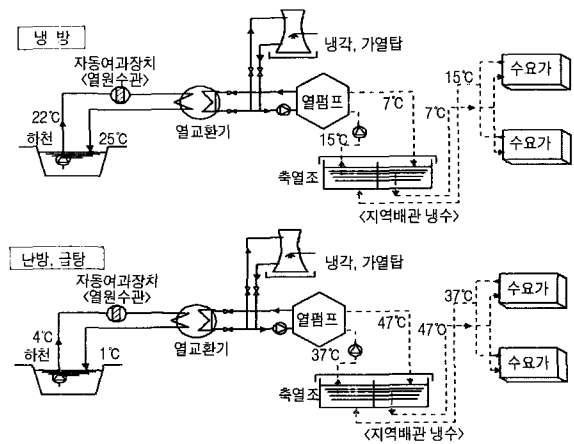
[그림 4] 지역열공급 시스템 구성

· 하천수

도시지역 인근에 위치하고 있는 하천수를 활용하는 것이 바람직하며, 하절기에는 냉동기의 냉각수로서 냉수제조로 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 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



[그림 5] 하수열원 열공급시스템의 개략도



[그림 6] 하천수열원 열공급시스템의 개략도

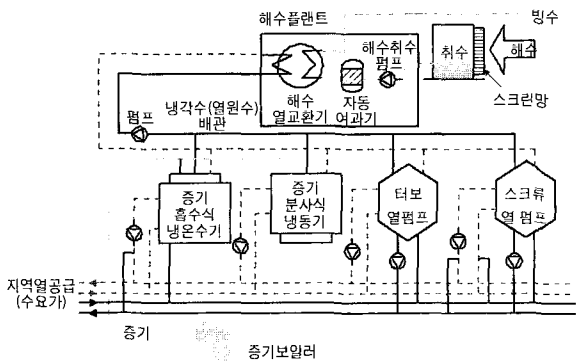
것으로 나타나고 있으며, 그림 6은 하천수열원 열공급시스템의 개략도이다.

• 해수

항만시설에 인접되어 있는 장소의 인근에서 해수를 취수하여 열펌프 열원용 급수와 열교환시킨 후 방류된다. 이용된 해수는 자동여과장치를 통과하면서 이물질이 제거된 다음 자동세정장치에 의해 미세한 오염물이 다시 제거된 후 티타늄계 열교환기로 유입된다. 열교환된 급수는 터보열펌프, 스크류 열펌프, 증기흡수냉동기 및 냉온수기의 열원수 또는 냉각수로 사용된다. 해수열이용에 의해 냉각탑방식 대비 연간 약 10%의 1차에너지소비량을 저감시킬 수 있었으며, 또한 냉각탑을 사용하지 않으므로 물 사용량을 95% 줄일 수 있었다. 그림 7은 해수열원 열공급시스템의 예를 나타낸 것이다.

이용기기의 선정

온도차에너지를 열원으로 하여 지역열공급에 필요한 냉열 및 온열을 제조할 수 있는 적절한 열원기기의 종류, 용량을 선정하여야 한다. 기기의 선정에는 반드시 공급개시후에 부하칠 열부하발생량의 추이를 예측하고, 온도차에너지를 유효하게 활용할 수 있어야 하며, 기기의 가동률이나 경제성 그리고 사용하는 전기·가스 등과 같은 에너지의 배분 등을 고려하지 않으면 안된다.



[그림 7] 해수열원 열공급시스템의 개략도

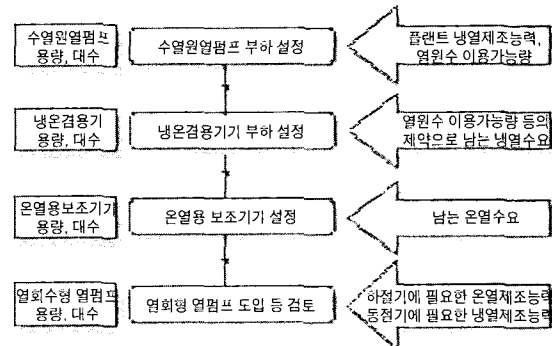
공급대상지역의 열수요를 미리 확인하고, 에너지의 유효이용면이나 경제성 등을 종합적으로 고려하여 최적의 열원기기를 결정하여야 한다. 또한, 연간을 통해 시간단위로 열수요발생예측이나 설비비, 에너지비용 등의 상세한 모든 조건을 고려하여 시뮬레이션할 필요가 있다. 그림 8은 냉열부하가 더 큰 경우에 열원기기를 선정하는 방향을 제시하고 있다.

• 수열원 열펌프

먼저 하천수, 해수, 하수 등과 같은 온도차에너지를 이용하는 수열원 열펌프의 용량 등을 설정한다. 단, 하천수 등의 취수가능량으로 규정한 열원을 가지고 열펌프의 용량을 최대에 올릴 수 있는 열량을 수열원 열펌프의 부하로 정할 수 있다. 역시 수열원 열펌프의 냉열제조능력 및 냉열제조사 COP로부터 열펌프를 구동하는데 필요한 전동기출력은 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \text{수열원 열펌프 전동기출력 (kW)} &= \text{플랜트 냉열제조능력 (Mcal/h)} \\ &\div \text{냉열제조사 COP} \div 0.86 (\text{Mcal/kW}) \end{aligned}$$

용량이 결정되면 저부하시 운전효율향상과 신뢰성 향상을 나타내보고, 중간기 등 경부하시 열수요량이나 공급개시 떨어지는 부하를 예측하여 열수요가에게 원활히 공급할 수 있도록 여러대를 나누어서 설치한다. 실제 기기의 도입은 예를 들면 공급개시 초기에 어느 정도까지는 수요가의 증가가 예측되므로 제2기나 장래 최종 추가로 설치할 것을 고려하여 분할하도록



[그림 8] 열원기기의 선정 방법

한다. 즉, 하천수 등의 취수가능량과 그것에 의해 규정된 수열원 열펌프의 부하관계는 다음과 같이 구할 수 있다.

- 냉열제조시
 $\text{열원수량 (m}^3/\text{h)} = (\text{냉방 COP} + 1) \div \text{냉방 COP}$
 $\div \text{열원수이용온도차 (}^\circ\text{C)} \times \text{냉열제조능력 (Mcal/h)}$
- 온열제조시
 $\text{열원수량 (m}^3/\text{h)} = (\text{난방 COP} - 1) \div \text{난방 COP}$
 $\div \text{열원수이용온도차 (}^\circ\text{C)} \times \text{온열제조능력 (Mcal/h)}$

• 냉온겸용기

온도차에너지 이용가능량이 충분히 있는 경우에는 앞의 플랜트에서 구한 냉열제조능력 또는 온열제조능력은 공급하는 일이 가능하지만 이용가능한 하천수 등의 제약에 의해서 또는 기기의 가동율 등을 고려해서 열펌프 용량을 정할 경우에는 다른 열원기기로 열수요를 파악해서 명확하게 하여야 한다.

채용하고자 하는 냉온겸용기의 냉열제조시 및 온열제조시의 성적계수를 고려하고, 여기서 부족하게 나타나는 냉열용량을 더해서 냉온겸용기를 선정한다. 냉온겸용기로 하는 것은 공기열원 열펌프가 냉온수발생기로부터 선정되기 때문이다. 냉온수발생기를 선택하는 경우에는 보일러 또는 증기가 공급되지 않는 경우에 가스를 직접 분사시켜 사용하는 것을 택한다.

$$\begin{aligned} &\text{냉온겸용기능력 (Mcal/h)} \\ &= \text{플랜트 냉열제조능력 (Mcal/h)} \\ &\quad - \text{수열원 열펌프 (냉열) 능력 (Mcal/h)} \end{aligned}$$

용량이 결정되면 저부하시의 운전효율향상과 신뢰성 향상을 꾀하고, 중간기의 열수요나 공급개시에 떨어질 것으로 예측되는 열수요의 분담 등을 고려해서 여러대를 분할하여 설치한다.

• 온열용 보조기기의 선정

여기서 냉온겸용기까지 선정한 열원기기로 동절기의 온열수요를 공급할 수가 있는가를 확인한다. 수열원 열펌프의 온열제조능력은 다음 식으로 구한다. 온열수요를 공급하기에 부족하게 되는 경우에는 보일러 등의 온열용 보조기기를 도입하든가 앞에서 언급한

냉온겸용기 또는 수열원 열펌프의 용량을 온열수요에 맞추어 크게 한다.

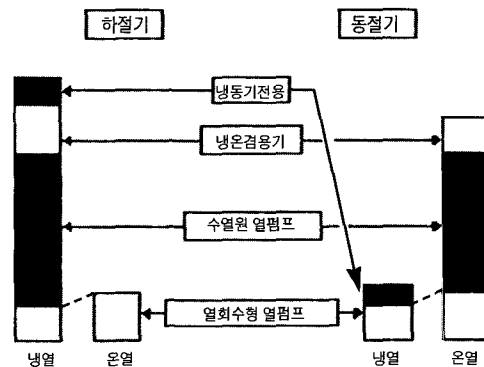
$$\begin{aligned} &\text{수열원 열펌프 온열제조능력 (Mcal/h)} \\ &= \text{전동기출력 (kW)} \times \text{온열제조시 COP} \\ &\quad \times 0.86 \text{ (Mcal/kW)} \end{aligned}$$

• 열회수형(냉온동시취출시) 열펌프 등의 검토

지역열공급으로 이용할 도시의 온도차에너지는 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 포함되어 있을 때에는 이와 같은 배열을 유효하게 이용할 수가 있으며, 고효율운전이 가능한 배열회수형 열펌프를 활용할 수가 있다.

이와 같은 능력은 예정된 수요가 상황에 따라 명백해지고, 열수요가 높게 파악된 단계에서는 하절기에 발생하는 온열수요 및 동절기에 발생하는 냉열수요의 밸런스나 각 열원기기의 예측가동상황 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



[그림 9] 열원기기 구성과 능력분담 예

또는 이중효용흡수식 냉동기라 불리는 전용냉동기의 도입을 검토할 수도 있다. 따라서 그림 9는 열원수 이용시 열원기기 구성과 능력분담 예를 나타내고 있다.

이용상의 과제

온도차에너지를 열원으로 지역열공급하기 위해서는 다음과 같은 열원별 이용상의 과제가 있다.

· 하수

하수는 수질에 의해 기기의 부식이나 스케일이 부착할 수가 있으며, 하수의 배출량은 비교적 안정적이지만 일일·계절변동이 있으므로 열수요와의 밸런스를 충분히 검토하여야 하고, 우수가 합류하거나 눈이 녹아들어갈 때는 수온이 떨어지는 경우가 있으므로 주의가 필요하다. 또한, 하수처리장은 주택단지가 복잡하게 난립되어 있어서 열수송이 효율적으로 이루어지지 않으므로 경제성이 떨어지는 경우가 발생되며, 하수처리장시설과 열공급시설과의 소유구분을 명확히 할 필요가 있다. 그리고 제도상으로는 하수 및 처리시설은 하수도법, 지역냉난방시설은 지역열공급사업법의 규제가 있으므로 이 두 관계에 대해 법제도상으로 구분을 명확히 할 필요가 있고, 도로를 점유하는 경우는 도로법의 사용허가, 하천이 근접해 있는 경우는 하천법에 의해 하천관리자의 허가가 필요하다. 추진상의 과제로는 열원과의 거리를 고려하여 생하수나 펌프장으로 이용도 검토할 필요가 있으며, 대규모의 지역열공급시스템의 경우 열수송 인프라의 정비로 막대한 투자가 소요된다.

· 하천수

하천수는 갈수기에 유량이 줄어들기 때문에 이에 대한 대책과 하천의 수온·수질·생물 등이 접촉하는 부분에 부식이 일어날 수가 있으므로 내식성, 경제성 및 전열성을 고려하여 사용기기, 배관의 재질을 선택할 필요가 있고, 생물이나 찌꺼기(slime) 등의 부착으로 전열성능의 저하나 열교환기의 폐쇄가 발생할 수도 있다. 그리고 부유물, 비닐류, 목재 등과 같은 이물질이나 하천의 생물이 취수부에 장애를 일으킬 수

가 있으므로 이를 제거하는 장치가 필요하다.

제도상으로는 하천법에 의해 하천의 우수나 토지점유의 허가과 공작물의 신설이나 하천수를 이용하기 위해서는 하천관리자의 허가가 필요하다. 그리고 하천생태계에 영향을 끼치지 않는 정도의 수온변화를 환경상으로 규정하고 있기 때문에 하천유량, 이용가능량과 온도확산 등을 충분히 검토할 필요가 있다. 즉, 일본에서는 유량의 1%, 이용온도는 동절기에 -3℃, 하절기에는 3℃로 하여 하천관리자의 허가를 받아야 한다. 또한, 추진상의 과제는 하천수 이용 가이드라인을 명확히 할 필요가 있고, 하천수 이용이 간단하기 때문에 도수로 등의 건설이 쉽다. 하수처리수 등의 다른 에너지와도 조합을 이루어서 안정적 열공급을 이룰 수가 있고, 열수요가의 확보에 행정적인 협력이 필요하다.

· 해수

해수를 열원으로 하는 경우 취수부에 해양생물의 부착에 의해 효율저하 및 부식대책으로 인한 비용의 증가, 배수에 의한 수질저하 등을 검토할 필요가 있다. 해수에 의한 부식대책으로는 기술적으로는 가능하지만 제품이 고가이므로 시스템 가격이 높은 요인이 되고 있다. 열교환기나 배관 등에 해양생물의 부착을 방지하기 위한 시스템도 가격상승을 초래하는 원인이 되고 있으므로 해수열원 열펌프이용 시스템의 기술이전도 저렴화할 필요가 있다. 그리고 양식장에서 어패류가 동이온으로 인해 악영향을 끼치므로 열교환기 등에 동재질 이외의 금속을 사용하여야 하기 때문에 가격상승을 초래하는 원인이 되고 있다. 따라서 양식용 해수의 질을 안정화시킬 기술의 확립이 필요하고, 승온중에 공기의 과포화대책(어류의 질병)도 필요하다.

온도차에너지이용 효과

온도차에너지는 대도시 지역내에서는 막대한 부존량을 가지고 있으므로 열수요 및 열원 각각의 분포상황·성질·부하패턴을 감안한 적절한 활용시스템을 구축할 경우 에너지이용 효율화에 크게 기여할 것이며, 기존의 냉난방시스템에 비해 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

• 지구환경문제에 공헌

온도차에너지이용은 기존의 냉난방시스템에 비해 이산화탄소(CO₂)의 발생량을 40~60% 정도 줄일 수 있다.

• 도시환경개선

온도차에너지를 이용하여 지역열공급을 하면 개개의 빌딩이나 가정에서 연료를 연소시키지 않기 때문에 청정한 도시개발이 가능하고 열섬화를 억제하며 질소산화물(NOx)의 생성을 60~80% 정도 줄일 수 있다.

• 전력평준화 효과

온도차에너지 시스템중 열펌프를 이용한 축열시스템을 이용하면 전력부하평준화 효과도 기대할 수 있다.

맺음말

온도차에너지를 이용한 열공급시스템이 최근에는 도시계획에 따른 기반시설을 바탕으로 이에 대한 정비계획 등과 관계되는 계획과 조정을 도식화하면 사업계획이 구체화될 수 있는 것을 기대할 수가 있다. 정부측에서는 비용저감에 필요한 기술개발, 지원조치를 취하여 사업이 원활하게 실시될 수 있도록 사업자 등에 대한 지침이나 정책을 검토할 필요가 있고, 비교적 소규모로 열이용하는 수요자들에게도 온도차에너지를 이용한 열공급시스템 도입을 촉진하여 널리 보급될 수 있도록 하여야 한다. ④