

집단에너지 열원으로서의 하수열이용 타당성 검토

(Feasibility study on sewage water by district energy heat source)

이 영 수* (한국에너지기술연구원 지열에너지연구센터)

1. 머리말

급변하는 세계경제에 능동적으로 대처하고 산업화의 확산으로 에너지자원의 고갈 및 예상되는 기후변화 등 심각한 환경변화에 대응하기 위해서는 1차 에너지의 사용을 최대한 줄이면서 환경친화적인 산업구조의 형태를 갖는 에너지 이용기술 개발 및 도입이 필수 불가결하다. 우리나라는 경제성장에 따라 에너지 소비량, 수입액 및 CO₂ 배출량이 꾸준히 증가하는 추세이나 에너지소비 증가율은 다소 둔화되고 있는 실정이다. 에너지수요는 2000년부터 2006년 동안 연평균 약 3.7%의 지속적인 증가율을 보이고 있으며, 기후변화협약(교토의정서)에 의거 우리나라는 2차 공약기간 중(2013~2017) 온실가스 감축의무부담이 가시화될 전망이다. 2005년 IEA보고서에 의하면 이산화탄소 배출량은 세계 10위이며 연평균 4.7%의 증가율을 보이고 있다. 또한 에너지소비량도 세계 10위 수준으로 감축의무를 부담하는 경우 산업·경제활동에 치명적일 것으로 예상된다. 따라서 에너지이용 효율화는 매우 중요한 과제이다.

이를 위하여 대도시 지역이나 공업단지에서 현재 발생되고 있는 다양한 유형의 미활용에너지를 회수하여 재활용하는 것은 에너지절약뿐만 아니라 환경개선을 위하여 필히 개발이 시급한 분야이며, 특히 도시지역은 인구 및 산업이 밀집된 곳으로 에너지 사용밀도가 매우 높고 환경오염이 심각한 지역으로 도시 지역에서 미활용되고 있는 각종 에너지를 회수하여 인근지역의 냉난방 및 급탕용 열원으로 사용하는 것은 경제성이 매우 높을 것으로 사료된다. 이와 같이 대규모 열수요처 부근에 미활용에너지가 존재할 경우 미활용에너지 이용기술을 네트워크하여 지역열공급으로 활용할 경우 그 효과는 매우 클 것으로 판단된다.

특히 대도시 지역내 미활용에너지로서 하수처리수가 대량으로 부존하고 있으며 부존량 조사결과 연간 36,000 Tcal/년이며, 이 열량은 2006년도 국내 총에너지 소비량의 약 2.1%, 가정 및 상업부문 에너지소비량의 9.7%를 차지하는 막대한 양이다. 하수처리수의 수온은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 통상 하절기에는 20~25℃로 대기보다 5~10℃ 정도 낮고, 동절기에는 8~13℃로 대기보다 10℃ 정도 높게 나타나 동절기에는 증발기의 열원으로, 하절기에는 응축기의 냉각열원으로 이용하면 공기를 열원으로 한 열펌프에 비해 효율이 더 높은 경제적인 특징을 지니고 있다. 하수처리수는 유량이 풍부하고 안정적이기 때문에 우수한 열원으로 활용될 수 있으며, 특히 우리나라와 같이 동절기 외기온도가 낮은 지역에서 공기열원 열펌프는 용량부족 및 착상문제가 발생하므로 미활용에너지인 하수처리수를 열원으로 사용하면 이러한 문제점을 해결할 수 있으므로 향후 하수열원을 이용한 열펌프시스템의 파급효과는 매우 높을 것으로 판단된다.

2. 서남물재생센터 하수처리수 배출현황

서남물재생센터의 하수처리량을 연중 조사한 결과 그림 1에서 보는 바와 같이 계절별로 약간의 변화가 있다. 즉, 하절기에는 물 소비량이 증가하기 때문에 동절기에 비해 약 20% 이상의 하수처리량이 많은 것으로 나타나고 있으며, 표 1은 연중 월별 1일 하수처리량을 나타내고 있다. 그리고 그림 2는 하수의 연중온도를 대기온도와 비교하여 나타낸 것인데 가장 추운 1월에는 10℃ 내외이고, 가장 더운 8월에도 25℃ 이하로서 열펌프의 열원으로 활용하기에 매우 유용함을 알 수 있다. 여기서 대기온도는 1일 동안의 평균온도를 나타낸 것으로서 동절기의 최저기온과 하절기의 최고기온은 이보다 훨씬 높기 때문에 동절기 공기열원으로 사용하는 열펌프는 사용이 불가능하고, 하절기 냉각탑을 사용하는 냉동기는 주간에 대기온도가 높기 때문에 냉동기의 성능계수가 떨어지므로 하수처리수를 냉각수로 난방시 열

원으로, 냉방시 냉각수로 사용하면 열펌프의 성능을 높일 수가 있기 때문에 에너지절약효과가 매우 큰 것으로 사료되고 있다.

표 1 서남물재생센터 하수처리량

월별	유입수량 (톤/일)		
	1처리장	2처리장	합 계
1	824,442	794,422	1,618.864
2	802,225	772,774	1,574.999
3	782,394	752,382	1,534.776
4	836,123	784,201	1,620.324
5	897,677	849,956	1,747.633
6	971,257	866,772	1,838.029
7	1,120,132	1,067,271	2,187.403
8	1,000,752	896,073	1,896.825
9	877,457	778,531	1,655.988
10	779,635	779,585	1,559.220
11	832,793	799,940	1,632.733
12	778,352	750,554	1,528.906
최대	1,589,700	1,799,030	3,388,730
최소	640,300	644,691	1,284,991
평균	878,501	827,868	1,706,369

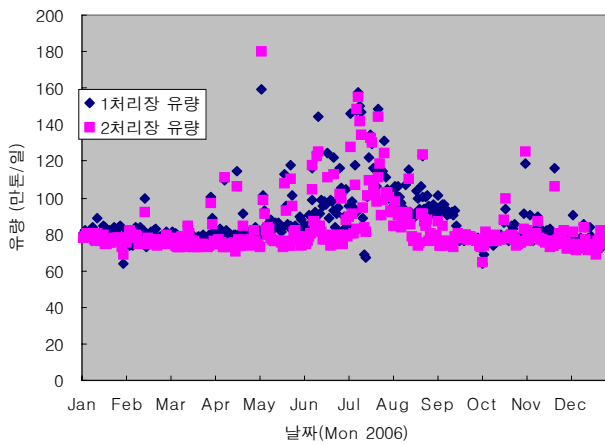


그림 1 서남물재생센터의 연중 하수처리량

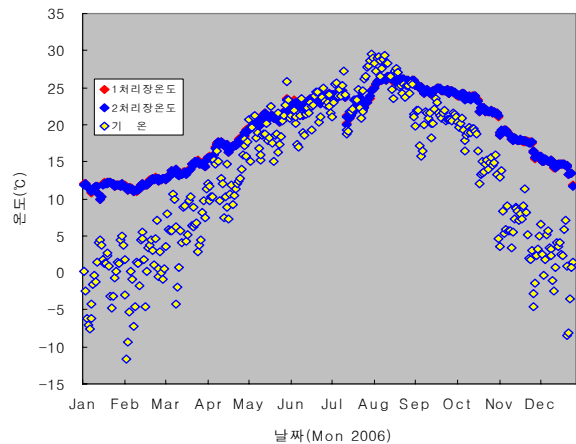


그림 2 서남물재생센터의 연중 하수 및 대기온도

또한, 계절별 하루 동안의 하수온도를 나타낸 것이 그림 3이다. 하수온도를 살펴보면 변화없이 거의 일정하게 나타나므로 열펌프의 열원으로 이용할 때 매우 안정적으로 열펌프를 운전할 수가 있다.

하수처리수로부터 열을 회수하는 열교환기는 열원의 조건에 적합한 재질과 구조를 갖추어야 한다. 수질이 불량할 경우 전열관의 내부에 스케일과 슬라임이 형성되어 전열성능을 저하시키는 가장 큰 원인 되므로 적절한 대책을 강구해야 한다. 뿐만 아니라 경우에 따라서는 부식으로 인한 열교환기 파손으로 장치 전체에 심각한 영향을 끼칠 수 있기 때문에 열원의 특성에 대한 철저한 분석이 필요하다. 하수처리장의 방류수질을 조사한 결과 표 2와 같으며, 열교환기의 재질에 가장 영향을 많이 끼치는 SS 성분이 10 이하로서 열교환기 재질에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료되며, 장래에 하수가 고도화 처리될 경우에 이물질은 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

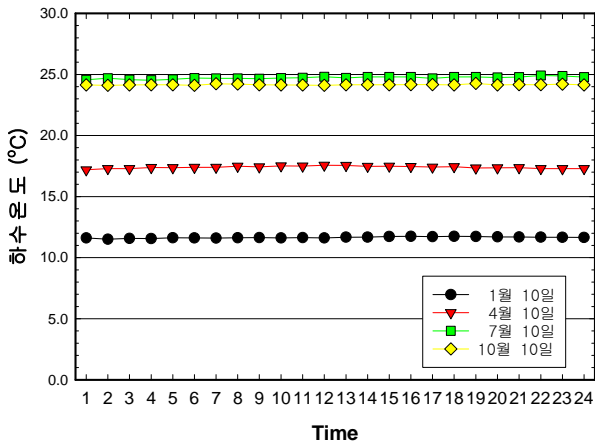


그림 3 계절별 1일 하수온도 변화

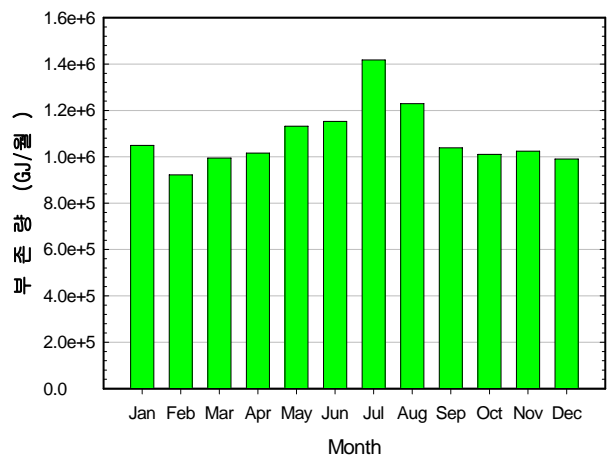


그림 4 서남물재생센터의 부존량

표 2 방류수질

	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	대장균군 (개/ml)
유입수	119.0	66.5	117.4	28.818	2.955	141,368
2차처리수	11.4	11.5	5.2	19.875	1.724	
최종방류수	11.6	11.6	5.3	20.080	1.740	1,369

3. 서남물재생센터 이용가능량

그림 4는 서남물재생센터의 월별 하수처리수의 온도차에너지 부존량을 나타낸 것으로서 연간 총 부존량은 약 $13.0 \times 10^6 \text{GJ/년}$ 으로 하절기가 동절기보다 약 20% 정도 크게 나타난다. 또한 부존량에 의한 냉난방이용가능량 평가에서 열펌프의 냉방 COPc는 4.5, 난방 COPh는 3.5를 적용하여 계산하였다. 그림 5는 서남물재생센터의 냉·난방이용가능량을 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면 서남물재생센터의 시간당 평균 냉방이용가능량은 289Gcal/h이며, 난방이용가능량은 495Gcal/h로서 대규모의 지역난방도 가능한 막대한 양이 부존하고 있다.

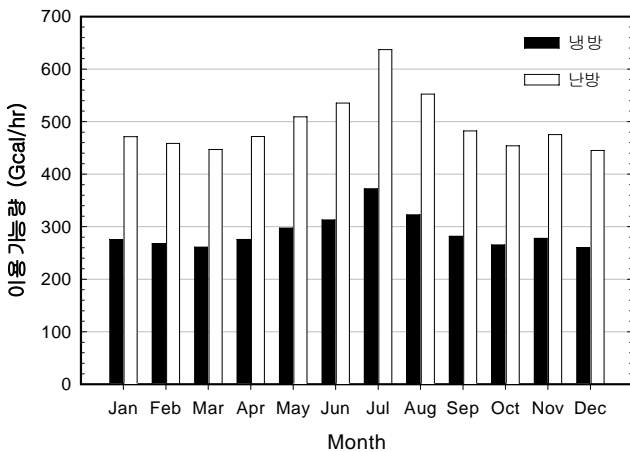


그림 5 서남물재생센터의 냉난방이용가능량



그림 6 서부강서지역 지역난방

4. 하수열회수 및 활용 최적 시설규모 산정

4.1 공급대상지역 온수부하 산정

SH공사 집단에너지사업단 목동열병합발전소에서 공급되는 지역난방은 크게 2개 구역으로 구분할 수 있다. 첫 번째는 목동지역이고, 나머지 하나는 강서지역으로 구분할 수 있다. 강서지역은 현재 가양지구, 방화지구 그리고 등촌지구로 구성되어 있으며, 향후에 마곡지역 및 방화뉴타운 등이 포함될 수 있으므로 지역난방의 공급량은 크게 증가할 것으로 예상된다.

강서지역에서 서남물재생센터에서 나오는 방류수를 이용하는 열펌프 플랜트로 지역난방을 공급하는 것을 고려할 때, 서남물재생센터 앞으로 지역난방 공급관이 지나가는 기존의 지역난방 배관을 이용하여 온수를 공급하는 것이 가장 용이하다.

4.2 열펌프 유닛의 시설규모 산정

열펌프 플랜트의 핵심부분인 열펌프 유닛은 열펌프 플랜트의 경제성을 결정하는 중요한 인자이다. 열펌프 유닛의 용량은 12.5Gcal/hr로 정하는 것이 경제적인 것으로 판단되며, 열펌프 유닛의 대수는 대수를 변화시키면서 분석한 결과 2대를 적용하고 수축열조를 적용하여 가동률을 높이는 것이 가장 경제적인 것을 분석되었다.

4.2.1 열펌프 유닛의 부하

한대의 용량이 12.5Gcal/hr인 열펌프 유닛의 대수를 결정하는 것은 지역난방 부하에 따라서 적정한 용량을 선정하는데 필요하다. 강서지역의 월별 평균 부하는 표 3과 같다.

표 3 서부강서지역 월별 공급열량 (단위 : Gcal/hr)

	최대값	최소값	평균값
1월	99.4	61.4	79.8
2월	98.7	57.5	75.7
3월	80.5	43.0	59.0
4월	56.1	26.2	38.4
5월	28.9	12.7	18.8
6월	18.1	8.2	12.0
7월	15.9	7.5	10.6
8월	9.7	1.9	5.5
9월	16.3	5.8	11.0
10월	29.9	10.2	17.7
11월	62.1	23.1	45.2
12월	93.7	55.8	69.4

서남지역의 2006년도 공급데이터에서 지역난방수의 평균공급 온도는 90.8℃이고, 평균환수온도는 55.4℃이다. 여기서 55.4℃로 환수된 지역난방 순환수를 열펌프가 80℃까지 가온하고 나머지를 도시가스 보일러를 이용하는 것으로 설정하여 열펌프가 담당할 수 있는 부하와 나머지 부하를 LNG로 표시하며 LNG로 표시된 부하는 열펌프가 담당할 수 없는 부하로서 그림 7과 같다.

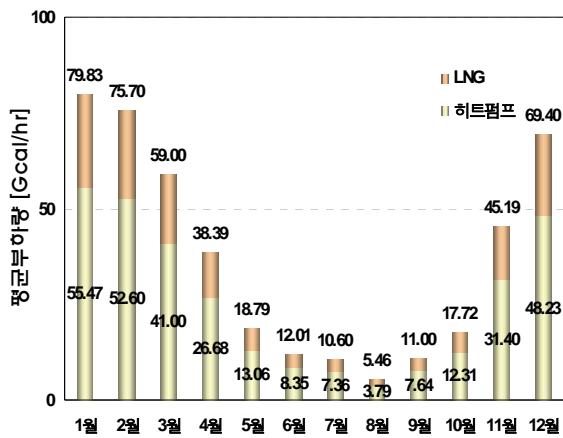


그림 7 월별 평균부하(2006년도 강서지구)

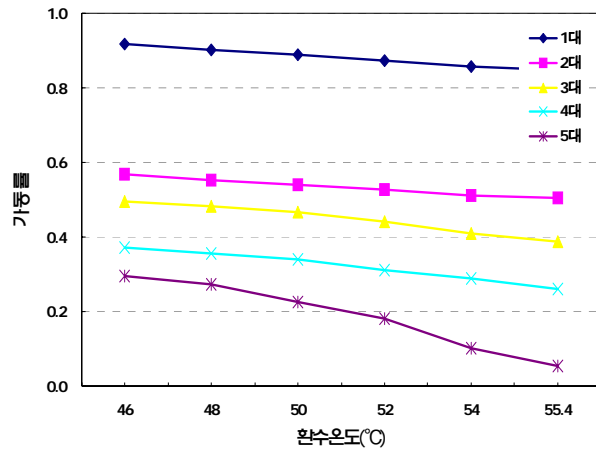


그림 8 환수온도에 대한 가동률의 변화

4.2.2 열펌프 공급 및 환수온도 분석

서남지역 지역난방수의 평균공급 온도는 90.8℃ 이고, 평균환수온도는 55.4℃ 이므로 온도차는 35.4℃ 이다. 같은 온도차를 유지하면서 지역난방 환수온도를 낮게 운전할수록 열펌프의 가동률을 높일 수 있다. 동일한 유량조건을 유지할 수 있도록 동일한 온도차를 유지하도록 유지하며 다음과 같이 환수온도 및 공급온도로 분석하였다.

환수온도를 낮추는 경우에 열펌프의 가동율이 변화하게 되는데 이를 그래프로 그리면 그림 8과 같다. 환수온도가 높아지면 열펌프 유니트를 1대 설치한 경우에서부터 시작하여 가동율의 변화를 알 수 있다. 또한 열펌프의 대수를 한대씩 증가시키면서 그 영향을 분석하였다.

지역난방 환수온도의 변화가 지역난방 원가에 미치는 영향을 조사하였다. 1Gcal 생산에 필요한 에너지 원가를 비교할 때, 열펌프 대수가 적은 경우에는 가동률의 변화가 크지 않으며, 이 경우에는 원가의 차이가 적다. 반면에 열펌프 대수가 많아지는 경우 가동률이 낮아지므로 이때에는 환수온도의 영향이 크게 증가한다.

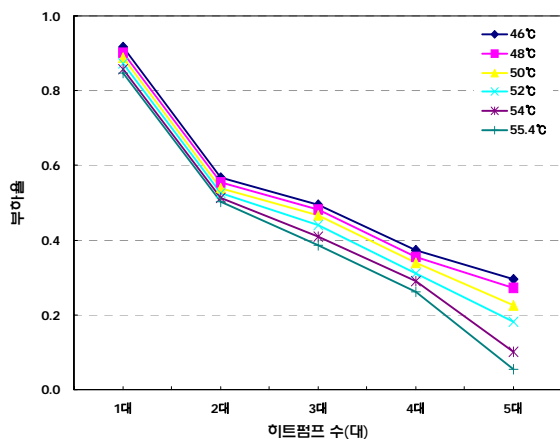


그림 9 환수온도가 부하율에 미치는 영향

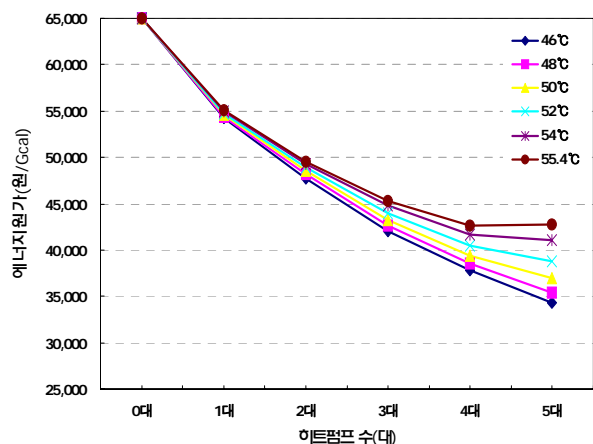


그림 10 열펌프 대수와 환수온도가 에너지 원가에 미치는 영향

5. 각 대안별 시스템 비교분석

각 대안 시스템의 비교하면 표 4와 같다.

표 4 각 대안 시스템의 비교분석

구 분	에너지공급 열용량	초기 투자비 (백만원)	에너지 절감량 (TOE/ 년)	온실가스 배출저감량 (TC/년)	연간에너지절감 비용(백만원/년)		단순투자비 회수기간(년)		생산단가 (원/Mcal)		
					기존시스템 (보조보일러)	판매 수익	기존시스템 (보조보일러)	판매 수익	열펌프+ 보일러	열펌프	
난방 전용	대안 1 -온수80℃	온열: 39.5 MW (34Gcal/h) -열펌프: 28.2 MW (24.3Gcal/h) -보일러: 11.3 MW (9.7Gcal/h)	29,335	2,470	2,209	4,208.0	3,485.6	6.97	8.42	난방 : 44.32	난방 : 28.09
	대안 2 -온수70℃	온열: 65.8 MW (56.6Gcal/h) -열펌프: 28.2 MW (24.3Gcal/h) -보일러: 37.6 MW (32.3Gcal/h)	29,335	3,018	2,505	4,380.3	3,173.7	6.7	9.24	난방 : 59.37	난방 : 25.959
냉난방 겸용	대안 3 -온수80℃ -냉수 5℃	온열: 39.5 MW (34Gcal/h) -열펌프: 28.2 MW (24.3Gcal/h) -보일러: 11.3 MW (9.7Gcal/h) 냉열 : 26.0 MW (7,394RT)	36,192	8,667	6,429	9,589.2	8,108.1	3.77	4.46	난방 : 36.58	난방 : 24.66 냉방 : 19.14
	대안 4 -온수70℃ -냉수 5℃	온열: 65.8 MW (56.6Gcal/h) -열펌프: 28.2 MW (24.3Gcal/h) -보일러: 37.6 MW (32.3Gcal/h) 냉열 : 26.0 MW (7,394RT)	36,192	9,215	6,724	9,761.4	7,796.1	3.71	4.64	난방 : 51.12	난방 : 23.34 냉방 : 19.14

6. 맺음말

국내 243개소 하수처리장의 미활용에너지 부존량은 36,000 Tcal/yr이며, 이중 20%만 이용한다고 가정하면, 연간 220만톤의 CO₂ 저감효과와 원유 528만 배럴에 해당하는 막대한 양을 절감할 수 있다. 이와 관련하여 현재 일본의 경우와 같이 하천수 및 하수 등의 열원이 신재생에너지의 범주에 포함된다면 국내에서도 관련법의 지원에 의해 본격적으로 보급될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 이영수 외, 2005, 하천수열원이용 고효율 열펌프시스템 개발, 한국에너지기술연구원 보고서
2. 이영수 외, 2005, 미활용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구, 한국에너지기술연구원 보고서
3. 이영수 외, 2007, 서남물재생센터 하수열이용 기본계획, SH공사 집단에너지사업단 보고서