

## 하수열원 열펌프시스템의 이용 현황

### The state-of-the-art trends of the heat pump system using sewage water as heat source

신 현 준  
H. J. Shin  
한국건설기술연구원



· 1953년생  
· 공기조화설비(HVAC) 및 기계설비시스템의 최적화와 에너지절약기술개발 분야에 관심이 있으며 특히 터널의 환기시스템 최적화에 깊은 관심을 가지고 있다.

이 세 권  
S. K. Lee  
한국건설기술연구원



1967년생  
건축환경, 히트펌프(heat pump)의 응용, 공기조화(HVAC)에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

산업의 발달과 생활수준의 향상에 따라 기하급수적으로 증가하고 있는 화석에너지와 각종 민생용에너지의 소비는 결과적으로 쾌적한 생활환경의 확보라는 또다른 욕구를 충족시켜야되는 사회적인 문제점을 야기시키고 있다. 특히, 지구온난화와 산성비 등 최근 심각한 문제로 대두되고 있는 환경변화의 주요 원인인 화석에너지의 사용량을 줄이기 위한 방안이 다각도로 검토되고 있다. 즉, 화석에너지를 대체하기 위해 태양열, 지열등과 같은 자연에너지와 각종 폐열의 유효이용을 위한 기술개발이 과거부터 활발하게 추진되어 왔다. 그 결과 다방면에 걸친 많은 기술이 개발되었으나 이들 에너지자원의 막대한 이용 잠재량에도 불구하고 유효이용에 가장 커다란 걸림돌로 작용되어 온 경제성 확보에는 아직까지 해결해야 될 많은 과제들이 남아 있다. 그러나, 사회적인

환경의 변화에 따라 에너지자원의 개발에 있어서 절대적인 평가기준이었던 종래의 경제성 확보위주로부터 환경의 중요성이 상대적으로 높아지면서 산업시설 및 근린생활시설에서 발생하는 각종 저온폐열의 유효이용에 대해서 깊은 관심을 갖게 되었다.

이들 폐열은 높은 에너지 밀도를 보유하고 있기 때문에 열원의 質에서는 자연에너지원에 비해 떨어지지만 에너지 밀도에 있어서는 절대적으로 유리한 조건을 갖추고 있다. 특히, 도시화의 영향으로 주거밀도가 높아지고 에너지소비량이 급증하면서 최근 관심의 대상으로 대두되고 있는 것이 일상생활과정에서 배출되는 도시형 생활폐수에 함유되어 있는 폐수열(이하 "하수열")이다. 지금까지 대부분 미활용에너지로 남아 있던 이들 하수열을 일본과 북유럽의 일부 국가에서 지역열공급시설의 에너지원으로 매우 유용하게 이용되고 있는 것으로 알려지면서, 이들 에너지

원의 유효이용에 대한 관심이 한층 높아지고 있다. 하수열을 이용한 열펌프시스템을 이용하고 있는 이들 선진국에서 분석한 연구결과를 보면 에너지절약 및 환경개선 효과는 석유용 보일러를 이용한 난방에 비해 CO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 발생량은 60~75%가 감소하고, 약 30%의 에너지 절약효과가 있는 것으로 발표되고 있어 이들 하수열에너지의 유효이용의 중요성을 짐작할 수 있다.<sup>1)</sup>

국내에서도 도시화의 영향으로 주거단지 및 업무시설과 각종 근린생활시설로부터 배출되는 하수에 보유되어 있는 폐열은 질적으로나 양적으로 높은 이용 잠재력을 지니고 있을 뿐만 아니라 열펌프기술을 비롯한 각종 관련 기술이 이미 상당한 수준에 이르고 있어 하수열을 열원으로 하는 열공급시스템의 실용화는 어렵지 않을 것으로 생각된다.

본 고에서는 이러한 관점에서 하수열의 에너지자원으로서의 유효성을 파악하기 위해 국내의 하수처리장을 선정하여 열원의 특성을 조사·분석하고, 이를 열원으로 하는 열펌프시스템을 설치하여 운전한 결과의 일부를 제시하므로써 장차 이들 하수열 뿐만 아니라 이와 유사한 각종 도시미활용에너지의 활용방안을 모색하고자 한다.

## 2. 하수열의 이용현황

### 2.1 국내현황

국내에서는 목욕탕, 사우나장, 실내수영장등과 같이 에너지를 다량으로 소비하는 건물에서 발생하는 고온폐열을 회수하기 위해 폐열회수장치를 설치하도록 건축법 시행령으로 규정하고 있다. 이러한 규정에 해당 되는 건축물에는 설계단계에서 관련 시설을 설치하여 대부분 급수의 예열에 이용되고 있다. 그러나, 이들 시설을 설치한 건물의 대부분이 건물의 사용과 관련하여 단순히 법적인 요구조건을 만족시키기 위하여 수동적으로 설치하였기 때문에 설비의 유지관리 및 사후행정관리가 제대로 되지 않아 시행효과에 대해서는 실제로 많은 의문이 제기되고 있다. 즉, 이들을 설치하므로써 얻어지는 에너지절약의 효과에 대해서 아직까지 정확히 분석된 자료가 없기 때

문에 시설의 효용성 여부를 판단하기는 어렵다.

복합단일 건물에서 발생하는 폐수열을 본격적으로 회수하여 이용하기 위한 연구가 처음으로 최 등<sup>2)</sup>에 의하여 수행되었다. 온천지역에 위치한 휴양시설의 온천수를 승온시키기 위해서 온천 폐수에서 발생하는 폐수열을 열펌프의 열원으로 이용하도록 고려된 연구에서, 폐수저장조에 저장된 약 25℃의 폐수를 열원으로 하여 30℃~35℃인 원수를 45℃~50℃로 승온하도록 제작하여 현재 효과적으로 사용되고 있는 것으로 알려지고 있다.

한편, 난방기의 평균배출온도가 10℃ 전후인 주거단지, 근린생활시설등에서 배출되는 도시형 생활폐수열은 그 잠재열량이 막대함에도 불구하고 연구가 거의 전무한 상태이다. 극히 제한적이지만 이들의 이용가능성을 검토하기 위하여 신<sup>3)</sup> 등이 아파트단지를 대상으로 여기에서 배출되는 폐수의 온도분포를 측정된 결과 18℃~25℃의 비교적 양호한 열원조건을 갖추고 있는 사실을 밝혀냈다. 그러나 이 경우 풍부한 수량을 확보할 수가 없기 때문에 이용에는 많은 제약이 따르게 되므로, 이들을 모아 처리하는 하수처리장의 방류수를 열원으로 이용하기 위한 연구가 에너지자원기술개발지원센터의 지원으로 신 등<sup>4)</sup>에 의하여 수행되고 있다.

### 2.2 외국현황

하수열을 냉·난방에너지원으로 이용하기 위한 시도는 스웨덴, 노르웨이 등 북유럽에서 처음으로 시작되었으며, 유효이용에 본격적으로 관심을 기울이기 시작한 시기는 제 1·2차 석유파동을 겪으면서부터 이다.<sup>2)</sup> 즉, 당시의 상황에서는 에너지자원의 확보가 무엇보다 중요하였기 때문에 비록 저온 저밀도의 저급에너지원이지만 이들을 효과적으로 이용하기 위해 관련분야에 대한 연구를 활발하게 진행하였다. 그 결과 각종 관련 기기와 시스템의 성능이 크게 향상되어 종래에는 무용에너지로 취급되어 오던 이들 저온폐열의 유효자원화가 가능하게 되었다.

최근에는 화석에너지의 배출가스로 인한 환경오염의 심각성이 사회적인 문제점으로 대두되면

서 경제성 측면보다도 화석에너지의 사용량을 줄이기 위한 방안의 일환으로 이들의 유효이용에 대해 관심이 높아지고 있다. 이러한 추세에 따라 하수열의 이용방안이 환경을 중시하는 노르웨이, 스웨덴, 일본등 일부 국가들을 중심으로 활발하게 추진되어 에너지절약형 열공급원으로서 유용하게 이용되고 있는 예가 속속 소개되고 있다. 특히, 80년대 들어 부존자원이 절대적으로 부족한 일본에서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 현재 많은 곳에서 실용화되고 있다.

일본에서 하수처리수를 열펌프의 열원으로 이용한 최초의 시설로서는 東京都의 下水道局에서 운영하는 東京市內的 한 펌프장에 설치한 것을 들 수 있으며, 그후 東京, 横浜, 名古屋, 大阪 등에서 운영하고 있는 각 지방의 하수처리장에서도 이러한 열펌프시스템을 설치하여 처리장내에 위치한 건물의 냉·난방 및 급탕에 이용하는 소규모 시설이 널리 보급되게 되었다.<sup>4)</sup>

대규모의 지역냉난방에 응용한 대표적인 사례로서는 동경 근교의 幕張 high-tech business 지구의 열공급시설을 들 수 있다. 여기에서는 필요한 냉·난방에너지의 70~80%를 폐수열로 충당하도록 계획되어져 있으며, 이 사업이 성공적으로 이루어지면서 이를 모델로한 열공급시설의 도입이 활발하게 추진되고 있다.<sup>5)</sup> 또한, 현재 건설

중에 있는 신도시에서도 하수열을 비롯한 각종 도시미활용에너지를 열원으로 이용하는 시스템이 주열원공급장치로 사용되어 수요열량의 상당량을 충당하도록 계획되고 있어 에너지사정이 일본과 비슷한 우리의 현실에 비추어 볼 때 주목할 일이다.

핀란드, 스웨덴 등 북유럽의 국가에서도 인구가 밀집되어 있는 대도시의 주거지역을 대상으로 하수열을 이용한 냉·난방시스템이 널리 보급되고 있다. 70년대 후반기에 이들 나라의 일부지역에서 이러한 종류의 열공급시설이 도시지역에서 실험적으로 운영되어 왔으나 관련기술의 발달과 함께 하수열의 경제성이 높아지고, 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증대되면서 국가적인 차원에서 보급이 이루어지고 있다. 즉, 최근 전세계적으로 대두되고 있는 CO<sub>2</sub> 발생량을 목표치 이하로 줄여 환경오염문제를 해결하기 위한 주요 대안중의 하나로서 하수열의 이용이 활발하게 검토되고 있다. 주요 시설로서는 스웨덴의 goteborg plant, stockholm-hammaby plant와 노르웨이의 baerum plant, sand-vika plant를 들 수 있으며 이들 시설은 현재 하수열을 이용한 대표적인 지역냉난방열공급시설로 알려지고 있다. 이들 시설을 포함한 주요시설의 현황을 표 1에 나타내었다.

표 1 하수열을 이용한 주요 열공급시설

國名	處理場名	暖房容量 (MW/h)	下水의 處理	國名	處理場名	暖房容量 (MW/h)	下水의 處理
덴마크	FREDERIKSHAVN	7.8	處理水	스웨덴	GOTEBORG	148.0	處理水
이탈리아	REGGIO EMLLIA	2.3	處理水	스웨덴	LUND	50.0	處理水
노르웨이	BAERUM	14.0	處理水	스웨덴	STOCKHOLM -HAMMABY	114.0	處理水
노르웨이	OSLO-SANDVIKA	24.0	生下水	스웨덴	SOLNA -SUNDBYBERG	120.0	處理水
				일본	落合處理場	0.62	處理水
				"	新河岸 處理場	0.35	處理水
"	"	"	"	"	冷池處理場	0.43	處理水
노르웨이	OSLO-SKOYEN VEST	8.4	生下水	"	幕場 Techno Garden	42	處理水

### 3. 하수열원의 열특성 분석

#### 3.1 조사개요

하수열의 유효이용성을 판단하기 위해서는 대상 하수의 온도특성을 조사할 필요가 있다. 하수열은 주거단지, 호텔, 병원, 사무소건물 등 배출 시설의 종류 뿐 만 아니라 시각별로 커다란 차이가 있기 때문에, 적용 대상에 적합한 시스템을 설계하는데 필요한 조건을 결정하기 위해서는 온도특성의 분석이 필수적이다. 이를 위해서 서울의 강남지역 일원에서 발생하는 하수를 처리하는 하수처리장을 선정하고 여기에서 배출되는 최종 방류수를 대상으로 온도변화를 조사하였다.

또한, 온도특성에 못지 않게 중요성을 가지고 있는 것이 수질에 대한 분석이다. 수질은 관련된 시스템의 구성기기의 성능과 수명에 결정적인 영향을 미친다. 특히, 하수와 접촉하는 하수열교환기의 전열관에 사용될 재질과 전열면에 생성되는 slime과 scale에 대한 방지대책을 세우기 위하여 하수에 있는 각종의 성분분석이 주기적으로 이루어져야 한다.

이상의 2가지 항목에 대해서 온도의 경우는 10분 간격으로 2년간에 걸쳐 측정하고 있으며, 수질분석은 분석에 소요되는 시간과 비용관계로 배출수질이 비교적 좋지 않은 갈수기 중에서 유입수질이 좋지 않다고 판단될 때의 배출수를 취수하여 실시하였다.

#### 3.2 측정결과 및 분석

##### 3.2.1 하수온도 특성

그림 1은 '96년도에 측정된 하수와 외기온도

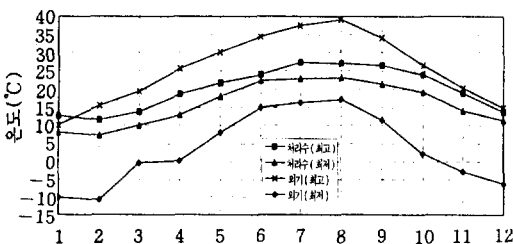


그림 1 하수처리수와 외기의 월별 최고·최저온도분포(1996년)

의 최고·최저온도를 월별로 나타낸 것이다. 외기의 온도변화와 처리수의 온도변화의 특성을 쉽게 알 수 있다.

한편, 같은 기간중에서 외기온도가 가장 낮았던 '96년 1월과 2월의 난방기와 외기온도가 가장 높았던 '96년 7월과 8월의 냉방기의 외기온도와 하수온도의 온도분포를 그림 2~5에 나타낸다.

이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이 난방기에는 하수온도 8.2℃~11.5℃, 외기온도 -11.9℃~15.5℃의 온도분포를 보이고 있어, 하수온도의 최대온도차가 약 3.3℃인데 반해 외기온도차

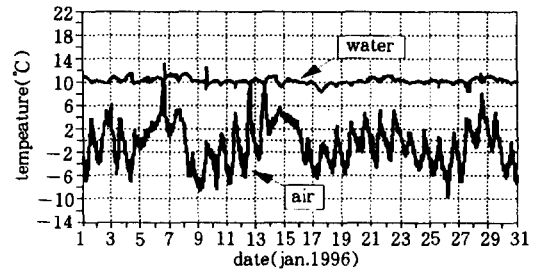


그림 2 하수처리수의 온도분포('96. 1)

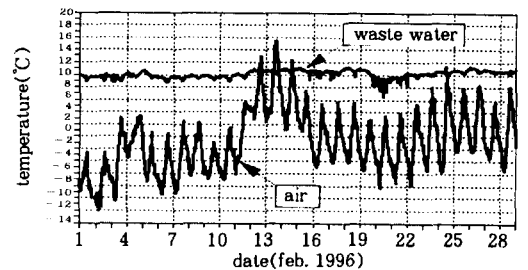


그림 3 하수처리수의 온도분포('96. 2)

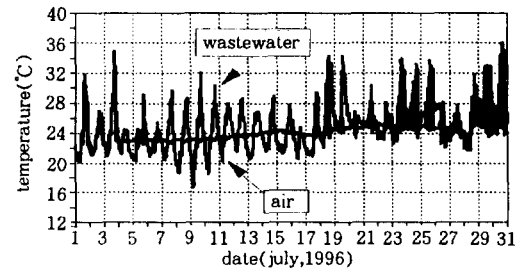


그림 4 하수처리수의 온도분포('96. 7)

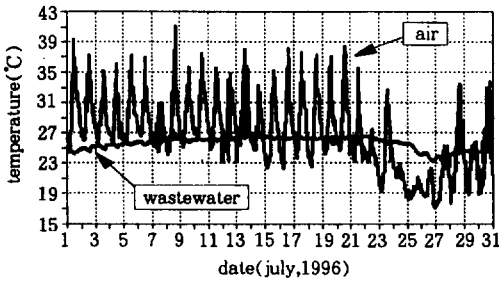


그림 5 하수처리수의 온도분포('96. 8)

는 무려 27.4°C의 커다란 차이를 보이고 있다. 또한, 냉방기에는 하수온도 22.3°C~27.2°C, 외기온도 16.3°C~39.2°C로서 하수온도의 최대 온도차가 약 4.9°C인데 반해 외기온도차는 무려 22.9°C의 커다란 차이를 보이고 있다.

이러한 냉난방기의 하수가 갖는 온도수준과 안정성은 열펌프가 갖는 우수성에도 불구하고, 열원의 제약성때문에 보급에 많은 한계를 가지고 있던 공기열원 히트펌프의 문제를 어느정도 극복할 수 있는 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다. 즉, 우리나라의 기후특성 때문에 일반화되지 못하고 있는 공기열원 열펌프 시스템의 한계를 극복할 수 있는 안정된 성능을 갖는 열펌프시스템의 구성이 가능하다는 것을 의미한다.

3.2.2 하수처리수의 수질

하수로부터 열을 회수하기 위한 열교환기 전열관용 재질을 선정하기 위해서는 우선 수질분석이 필요하다. 즉, 수질분석을 통하여 내식성이 좋고 열전도율이 우수한 재질을 선택하고 이를 고려하여 시스템의 성능을 안정적으로 유지하기 위한 전열면의 청결대책을 확보하여야 한다.

이를 위한 수질 분석의 기본항목은 냉동기의 냉각수 수질관리기준에 제시된 항목을 기준으로 하였으며, 그 동안 측정된 결과를 정리하면 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 대부분의 항목이 규정치 이내에 있지만 알칼리도와 암모니아성 질소의 경우 기준치보다 크게 높은 것을 알 수 있다. 특히, 암모니아성 질소는 열교환기의 재료로 가장 많이 이용되는 동파이프에 대한 부식성이 매우 높기 때문에 폐수열 열교환기용 전열관으로서

표 2 하수처리수의 수질

시험항목	단위	기준치	측정치
수소이온농도(pH)	-	6.5~8.0	7.08~7.13
전기전도도(Conductivity)	mS/cm	800	442~584
염소이온(Cl <sup>-</sup> )	mg/L	200이하	58~69
황산이온 SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	200이하	28~33
M-알칼리도(Alkalinity)	mg/L	100이하	147~164
총경도(Total Hardness)	mg/L	200이하	98~101
철(Fe)	mg/L	1.0이하	0.14~0.17
황화물이온(S <sup>-2</sup> )	mg/L	0.00	0.00
암모니아성질소(NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	1.0이하	18.30~22.50
이산화규소(SiO <sub>2</sub> )	mg/L	50이하	0.79~6.83

는 부적합한 것으로 판단된다. 따라서, 전열관의 재질은 니켈이 30% 함유된 Cupola nickel을 선정하였다.

3.2.3 열원의 잠재량

'95년 현재 우리나라의 하수도 보급율은 45%로서 '76년의 4%, 86년의 18%와 비교할 때 비교적 높은 증가율을 보이고 있다. '76년에 최초로 서울시의 청계천 하수처리장이 완공되므로서 하수처리장시대를 맞이한 이래 '93년 현재 전국에서 총 43개소가 가동중에 있으며 하수처리장의 현황은 표 3과 같다. 이들 전국의 하수처리장에서 보유하고 있는 하수처리용량은 총 719.5만 m<sup>3</sup>/일로서 이것을 기준으로 할때 하수처리장으로 부터 방류되는 하수량은 연간 약 26억 3천만 m<sup>3</sup>이 된다.

따라서, 하수처리장이 보유하고 있는 에너지부존량은 이들 하수처리량으로 부터 간접적으로 산정할 수 있다.

즉, 하수처리장으로 부터 배출되는 처리수의 겨울철 수온을 앞에서 언급한 바와 같이 8~12°C로 가정하고 이것으로부터 열을 회수하기 위해 전체 하수처리량의 약 10%를 열원으로 이용하고 회수 온도차를 5°C라고 가정하면 이용이 가능한 에너지량은 1.3×10<sup>6</sup> Gcal/년이 된다. 이것은 '95년에 우리나라에서 사용된 총난방용 에너지 2,910만 4,000 TOE의 약 0.5%에 상당하는 막대한 양이다. 에너지자원으로서 하수열이

표 3 전국의 하수처리장 현황

(93년말 현재)

시·도	처리장명	처리용량 (천톤/일)	방류수역	시·도	처리장명	처리용량 (천톤/일)	방류수역	
계	(43개소)	7,195.3		강원 (1)	춘천	75	북한강(공지천)	
서울 (4)	중랑천	1,460	한강(중랑천)	충북 (7)	청주	150	금강(미호천)	
	탄천	600	한강(탄천)		제천	35	남한강(창평천)	
	(하남포함) 가양	1,000	한강		문의	1	금강(대청천)	
	(광명포함) 난지	500			보은	6	금강	
		옥천			18	금강(대청천)		
부산 (2)	수영	286	남해(수영천)		영동	영단양	85	금강(영동천)
	장림	330	남해(낙동강)			남한강(충주댐)		
대구 (2)	달서천	250	낙동강(금호강)	전북 (1)	전주	100	만경강(전주천)	
	신천	350	낙동강(금호강)	전남 (3)	나주	22.5	영산강	
인천 (1)	가좌	190	서해		광양	5.5	남해	
	광주 (1)	광주	300		영산강(광주천)	화순북면	2.0	동북댐
대전 (1)	대전	150	금강(갑천)	경북 (5)	경주	25	형산강	
경기(11)	안양	150	한강(안양천)		구미	135	낙동강	
	(의왕·군포) 의정부	60	한강(중랑천)		영천	25	낙동강	
	성남	340	한강(탄천)		은정	6.5	동해(남대천)	
	(분당) 일산	135	한강		왜관	20	낙동강	
	과천	30	한강(양재천)	경남 (2)	회야	32	회야강	
	안산	121	서해		진주	110	남강	
	구리	50	한강(왕숙천)	제주 (2)	제주	60	남해	
	용인	18	한강(경안천)		서귀중문	5	남해	
광주	11	한강(경안천)						
화도	10	북한강						
양평	7.8	남한강						

갖는 이러한 풍부한 부존량과 열특성을 감안하면 에너지자원으로서 하수열의 중요성을 짐작할 수 있으며, 특히, 도심지역이나 도시인근에 위치하고 있는 하수처리장을 외국의 경우와 같이 열공급원으로 이용하기 위한 방안이 심도있게 검토되어야 할 것이다.

#### 4. 하수열원 열펌프시스템

##### 4.1 열펌프시스템의 개요

하수열을 열원으로 하여 구성된 열펌프시스템의 개요도는 그림 6과 같다. 하수는 난방기에는 난방열원으로 이용되며 냉방기에는 응축기의 냉각수로 이용되도록 되어 있다. 열원인 하수는 여

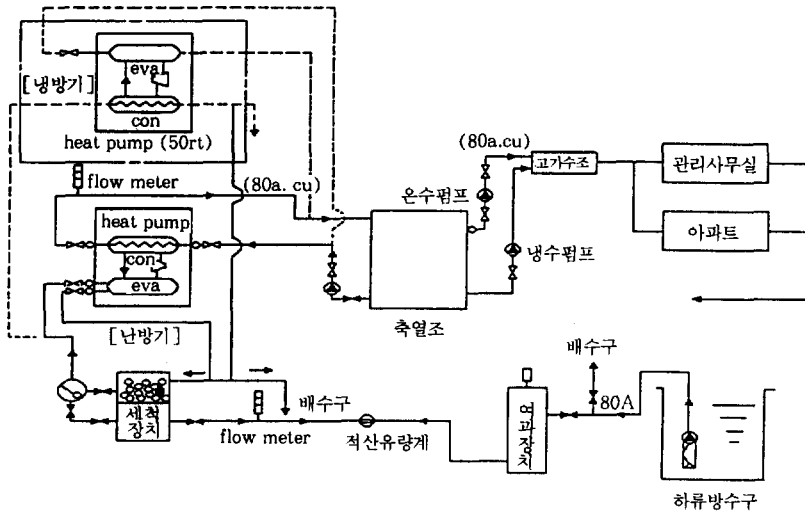


그림 6 폐수열원 열펌프시스템의 개요도

과장치에서 고형이물질이 제거되고 전열관의 자동세척장치를 거쳐 하수열 열교환기에서 열교환이 이루어진 후 방류구로 배출된다. 응축(증발)기에서 소정의 온도로 승온(냉각)된 온수(냉수)는 축열조에 저장된 후 열수요처의 부하에 대응하여 공급되도록 되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 시스템은 크게 ① 여과장치, ② 세척장치, ③ 열펌프시스템 그리고 ④ 축열조로 구성되어 있다. 열펌프의 증발기와 응축기는 운전모드가 바뀔때마다 상호역할을 바꾸어 수행하도록 하므로서 냉·난방의 목적을 동시에 달성할 수 있으나, 본 시스템의 경우 실제에 있어서는 운전모드의 변경시마다 열교환기를 세척해야 하는 등의 구조적인 문제점 때문에, 동일한 열교환기를 응축기와 증발기의 겸용으로 사용하는 것은 바람직스럽지 못하다. 따라서, 응축기와 증발기를 냉·난방운전 모드의 전용으로 사용할 수 있도록 특수한 구조로 설계하였다.

#### 4.2 시스템설계 및 제작

##### 4.2.1 설계조건

하수처리사업소내의 관리동과 아파트를 본 하수열원 열펌프시스템의 열공급 대상으로 선정하

였으며, 이들 건물에서 발생한 냉방부하는 1,490,000 kcal/day로 나타났다(TAC 2.5%). 따라서, 열펌프의 용량은 최대 설계부하를 완전히 충족시킬 수 있도록 산정하였다. 주간에 필요로 하는 총열량을 심야시간만으로 확보할 경우 열펌프의 용량이 과대하게 증대되는 결과를 가져올 수 있기 때문에 열펌프는 심야시간대 뿐만 아니라 경우에 따라서는 주간에도 부하의 일부를 처리할 수 있도록 하였다. 따라서, 축열조는 냉방부하의 50%를 감당할 수 있는 용량으로 하였으며, 건물의 일일 최대열부하와 일일 운전가동시간을 고려하여 열펌프의 용량을 산정하였다.

기기의 운전시간은 심야시간대에 5시간동안 하는 것으로 가정하고 축열조 등의 열손실 등을 감안하여 여유율을 10%로 하였다. 이러한 조건들을 이용하여 계산한 결과 열펌프의 용량은 50RT가 되었다. 한편, 열펌프로부터 생산되는 온수와 냉수의 이용온도는 냉·난방 조건에 맞추어 냉방기에는 냉수의 출구온도와 환수온도를 각각 7℃, 12℃로 하고 난방기에는 온수의 출구온도와 환수온도를 각각 45℃, 40℃로 설정하였으며, 기타 설계조건은 표 4와 같다.

열펌프시스템에 사용되는 압축기는 (주)경원

표 4 시스템설계 및 운전조건

항 목		조 건	
열 펌프 시스템	냉방운전조건	냉수출구온도	7°C
		냉수입구온도	12°C
		냉각수입구온도	28°C
		냉각수출구온도	33°C
	난방운전조건	온수출구온도	45°C
		온수입구온도	40°C
		열원입구온도	10°C
		열원출구온도	5°C
열원 온도	냉 방 기	최 고 온 도	28°C
		최 저 온 도	20°C
	난 방 기	최 고 온 도	15°C
		최 저 온 도	8°C

세기에서 제작한 반밀폐형 스크류식으로 하였고, 응축기와 증발기는 shell & tube형으로 하였다. 응축기는 전열관의 내부로 냉각수 또는 온수가 흐르고 냉매는 shell 측에서 응축되도록 하였다. 폐수열교환기 전열관의 내부에는 냉·난방기에 항상 하수가 통과하도록 되어 있다.

증발기는 만액식으로 하였으며, 냉매는 전열관의 외부인 shell측에서 증발이 일어나도록 하고 냉수나 열원인 하수는 전열관 내부를 유동하면서 방열되도록 하였다. 이상과 같이 응축기 및 증발기 모두에서 열원인 처리수를 전열관 내부로 유입시킨 것은 열원의 특성상 세척장치의 고려가 필수적이었기 때문이다.

시스템의 성능을 개선하기 위해 증발기 출구에 기액분리기를, 응축기 입구에 오일분리기를 각각 설치하였으며, 팽창밸브는 미국의 DANFOSS Inc. 에서 생산한 PMFL+SV형을 채용하였다.

하수처리장에서 배출되는 배출수는 각종 오염 성분이 처리되어 방류수의 수질기준에 맞도록 배출되지만 머리카락, 섬유부스러기 등의 고형물질과 Ca, Si, Mg 등 퇴적물을 형성하는 물질들을 많이 포함하고 있어, 이를 열교환기에 유입시킬 경우 기기에 무리가 발생할 뿐만 아니라 전열성능을 저하시킬 염려가 있어 열원으로 직접 이용하기에는 부적합하다. 따라서, 이러한 문제점들

표 5 하수열원 열펌프시스템의 사양

항 목	단 위	사 양
능 력	냉방운전 kcal/h	151,000
	난방운전 kcal/h	172,000
용량조절범위	%	100~25.0
냉 매		R-22(HCFC-22)
작동유체		물(H <sub>2</sub> O)
압축기		
모델×수량	HP(kW)×대수	GC-S50S11×1
형식		반밀폐형 스크류
전동기표시출력		50(37)×1
기동방식		Y-△
응축기		
형식		SHELL & TUBE
배관관경(입구/출구)	A	80
설계입력	kg/cm <sup>2</sup> G	22
수압시험	kg/cm <sup>2</sup> G	33
기밀시험	kg/cm <sup>2</sup> G	22
증발기		
형식		SHELL & TUBE
배관관경(입구/출구)	A	80
설계입력	kg/cm <sup>2</sup> G	22
수압시험	kg/cm <sup>2</sup> G	33
기밀시험	kg/cm <sup>2</sup> G	22

을 예방하기 위한 전처리 설비로서 자동 strainer와 세척장치를 설치하였다.

#### 4.2.2 열펌프시스템의 제작

열펌프는 봄·가을 등 중간기와 겨울의 난방기에는 급탕·난방용 온수를 공급하고, 여름에는 냉방용 냉수를 공급하도록 하였다. 따라서, 정상적으로 가동할 경우 연간 가동율이 매우 높은 시스템이지만 열원의 종류에 따라 다소의 부대설비를 갖추어야 한다. 특히, 이미 언급한 바와 같이 하수열을 열원으로 사용하는 경우 하수와 접촉하는 열교환기의 전열면에 대한 세척장치의 적용은 필수적이다. 열펌프시스템의 심장부에 해당하는 압축기는 저소음, 저진동을 실현하고 높은 압축비를 얻기 위해서 반밀폐형 스크류압축기를 사용하였다. 압축기의 로터는 5+7 profile을 채용한



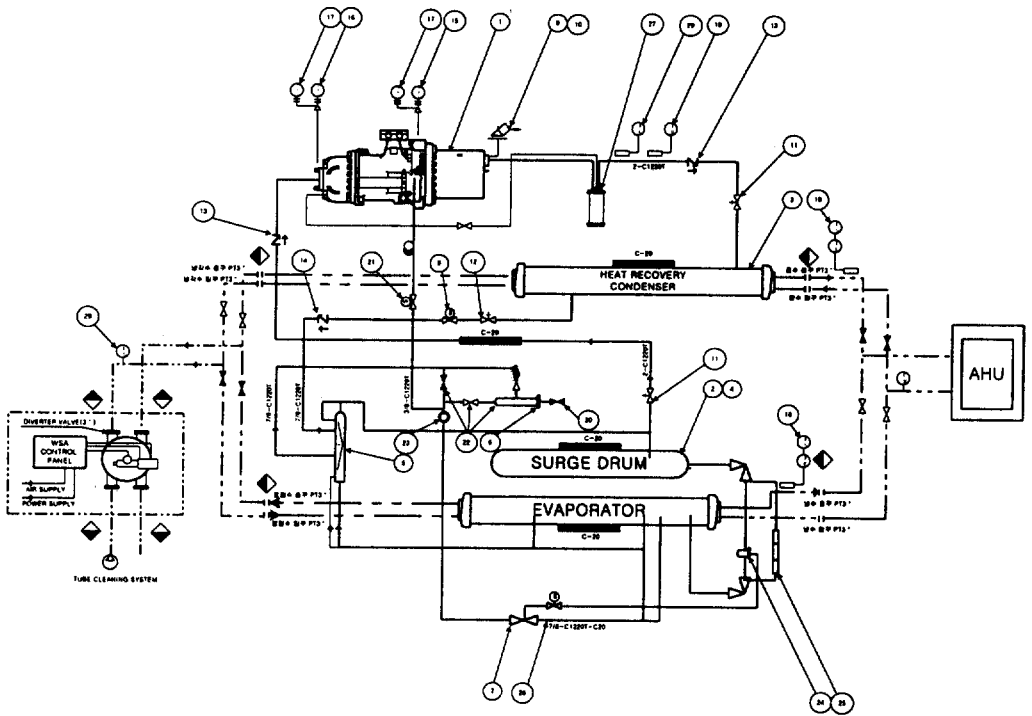


그림 7 하수열원 열펌프시스템의 P & I도

(주)경원세기의 GC-S50S11 모델을 적용하였다.

용축기는 shell & tube형을 채택하였으며, 전 열관은 열전달 성능을 높이기 위해 특수 가공한 THERMOEXEL-C형을 사용하였다.

증발기는 만액식을 채택하여 많은 양의 액 냉매를 항상 증발기내에 보유하고 있도록 하므로서 부하변동이 심하거나 갑자기 많은 부하가 발생하여도 운전이 원활하게 되도록 하였다. 하수와 접촉하는 전열면을 계속적으로 세척작업을 하여야 하므로 세척이 용이하도록 튜브측에 하수를 공급하는 구조로 하였다.

하수열원 열펌프시스템에 사용한 팽창밸브는 플로우트가 냉매액의 상태에 따라 밸브 시트를 개폐하여 팽창되는 냉매의 양을 제어하는 플로우트식 자동팽창밸브를 채용하였다. 이러한 형식의 밸브는 증발기 액면의 변동에 따라 밸브가 개폐하므로 응답속도가 비교적 빠른 특징을 가지고 있다. 팽창변은 설치위치에 따라 고압용 플로우트 밸브, 저압용 플로우트 밸브로 분류되며, 본 시스템에서는 플로우트 밸브를 저압측에 설치하

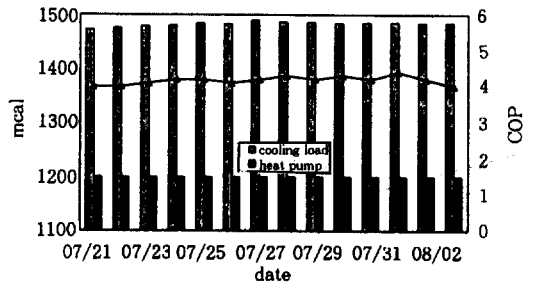


그림 8 열펌프시스템의 성능계수

고 증발기내와 균압을 이루는 곳에 플로우트를 설치하여 증발기의 액면이 상·하로 변동됨에 따라 밸브를 여닫아 고압측으로부터 냉매액을 증발기내로 유입시켜 증발기내의 액면 높이를 일정하게 유지하도록 하는 형태의 저압용 플로우트밸브를 사용하였다. 표 5에 열펌프시스템의 제작사양을, 그림 7에 열펌프시스템의 P&I도를 나타낸다.

표 6 타 난방장치와의 비교

구 분	석유 보일러	가스보일러	하수열원 히트펌프
대상면적	1500 m <sup>2</sup>		
난방에너지부하(3개월)	110 Gcal(부하 : 150/m <sup>2</sup> ·h, 난방시간 : 720시간)		
에너지소비량(3개월)	보일러효율=0.8 1차환산에너지 137.5 Gcal (석유소요량 : 15,278 ℓ)	효율=0.85 1차환산에너지 129.4 Gcal (도시가스소요량 : 12,324 m <sup>3</sup> )	전기에너지소비량(COP 4.3) 25.7 Gcal 1차 석유환산에너지 (발전효율0.35) 73.4 Gcal (전기소요량 : 85,848 kWh)
소비자가격	385원/ℓ	300원/m <sup>3</sup>	59원/kWh
에너지비용	5,882,000 원	3,697,000 원	5,065,000 원
효과분석	에너지비용 비교	1	0.65
	절약효과 비교	1	0.94
오염물질 배출유무	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> 발생	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> 발생	잉여전기유효활용 無

#### 4.3 실험결과 및 분석

그림 8은 7월 21일 부터 8월 3일에 걸쳐 수행한 냉방에너지 공급량과 시스템의 성능계수와 관계의 나타낸 것이다. 열펌프에 의하여 공급된 열량과 성능계수는 매일 10:00~18:00에 걸쳐 실험한 자료를 가지고 얻어진 결과로서 성능계수는 4.2~4.5의 비교적 안정적인 상태를 유지하였다.

건물의 냉방부하는 07:00~18:00까지 계산된 값을 나타낸다. 한편, 실험기간동안 하수열교환기의 하수측 전열면도 비교적 청결한 상태를 유지하므로써 세척장치는 효과적으로 기능을 발휘하였다. 또한 방류수는 비록 처리과정을 거쳤지만 냉각수 흡입관에 설치된 strainer가 폐쇄되는 현상이 종종 나타나 열원의 유량이 변하는 원인이 되고 있어 특히 이에대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4.4 경제성분석

표 6은 다른 난방방식과 하수열원 히트펌프시스템과의 경제성을 검토한 결과이다. 이 결과는 기기설치비, 배관비등 초기투자비는 감안하지 않

는 운전비용만을 단순 비교한 것이다. 표에서 보는바와 같이 난방부하 110Gal를 기준으로 할때 하수열원 열펌프시스템의 운전비용은 가스보일러에 비해 높으나 석유보일러에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이것은 일반전기의 사용용 기준으로 한 것이며, 심야전기를 사용할 경우에는 훨씬 높은 경제성을 확보할 수 있다.

#### 5. 맺음말

본 연구는 하수열을 열원으로 하는 열펌프시스템의 성능 및 경제성을 평가하기 위한 모델개발에 중점을 두고 (1) 하수처리장의 하수열 열특성 조사 및 적용타당성검토 (2) 자동세척장치의 적용타당성검토 (3) 하수열원 열펌프시스템의 설계·제작 및 설치를 통한 성능실험 분야에 관해 연구를 수행하였다. 하수처리장에서 배출되는 하수열의 온도는 겨울철 8~12℃, 여름철 20℃~25℃로서 열펌프의 열원으로서 훌륭한 조건을 갖추고 있다. 이것은 외기온도와 비교할 때 온도의 안정성 측면 뿐만 아니라 온도수준에서 볼때 겨울철에는 열원으로, 여름철에는 냉각수로 사용

하므로서, 공기열원에 비해 월등히 성능이 향상된 히트펌프시스템을 구성할 수 있음을 보여 주는 것이다.

하수의 수질을 분석한 결과 계절별, 시간별로 많은 차이를 보이고 있다. 1일 3회에 걸쳐 매달 1회 측정할 수질은 대부분이 냉각수의 수질관리 기준을 만족시켰으나, 알카리도와 암모니아성 질소의 농도는 각각 147~164mg/l, 8.7~25.5mg/l로서 기준치 100 및 1을 크게 상회하는 것으로 나타났다. 따라서, 열교환기의 전열관으로 널리 이용되는 동관은 암모니아에 약하기 때문에 하수열교환기에는 적용이 곤란한 것으로 판단된다. 이와 같은 점들을 종합적으로 고려하여 열교환기에 사용되는 전열관의 재질은 10%의 니켈을 함유한 cupola nickel로 선정하였다.

하수의 특성상 하수와 접하는 전열관의 성능을 유지시키기 위하여 자동세척장치의 설치는 필수적이며, 금번에 사용된 브러쉬양복 세척장치는 양호한 성능을 유지하고 있어 앞으로의 유사한 시스템에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

50RT규모의 시스템을 설치하여 냉방기에 운전을 실시한 결과 4.2~4.5의 비교적 안정된 성능계수를 나타내어 에너지절약형 냉난방시스템으로의 보급이 가능할 것으로 판단된다. 이것은, 경유를 연료로 사용하여 발전하는 화력발전소의 발전효율이 40% 내외인 점을 고려할 때 충분히 경제성이 있는 시스템의 제작이 가능한 것으로 판단된다. 대규모 하수처리장에서 발생하는 처리수를 적절히 이용하여 환경친화형 열공급시스템으로의 보급이 기대되며, 국제적으로 당면하고

있는 환경규제를 해결할 수 있는 효과적인 대안 중의 하나로 활용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 未利用 エネルギー-活用 マニュアル, 1992, オム社.
2. 최형식의, 1994, 폐수열을 이용한 복합건물에서의 축열식 히트펌프시스템 개발, 한국전력공사
3. 신현준외, 1993, 폐열회수 고효율 난방시스템 연구(I), 한국건설기술연구원.
4. 신현준외, 1995, 도시미활용에너지 이용 열펌프시스템개발(I, II), 통상산업부.
5. 山口 幸勇, 1975. 10, ヒートポンプによる低溫廢熱の利用方式, 建築設備と配管工事.
6. 川岸 隆之, 1992, エネルギー-利用の効率化に向けて, 空氣調和・衛生工學, Vol.66, No.6.
7. 稻昌 昭彦, 1992, 生活排水熱利用 ヒートポンプ給湯システム, 省エネルギー, Vol.44, No.1, pp.36 ~39.
8. Varde, K.S., 1989, "Extraction of Sensible Heat from Waste Water for Domestic Heating Applications", Alternative Energy Sources, Vol.9, pp.4323~4332.
9. R.H. Howell, 1991, "Heat Recovery in Buildings Using Water-Loop Heat Pump Systems", ASHRAE Transactions, IN-91-8-3.
10. ASHRAE Handbook, 1985, Fundamentals.

본고는 에너지자원 기술개발 지원센터 에너지 절약 기술개발 사업비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부입니다.