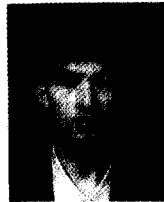


생활폐수 및 하수처리수열의 유효이용 타당성 분석

Analysis on the Availability of the Treated Municipal Waste Water as Heat source

신 현 준
H. J. Shin
한국건설기술연구원
기전연구실



· 1953년생
· 에너지절약 및 공기조화설비와 환경플랜트 설비의 최적화 등에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

산업화의 과정에서 필수적으로 사용되어 온 석탄, 석유 등 화석에너지는 산업발달의 원동력이 되었지만, 이들 에너지의 사용량이 급격히 증가되고, 연소과정에서 발생하는 각종 공해물질로 인한 환경오염의 심각성이 밝혀지면서 오늘날 이러한 문제를 해결하기 위해 사용량의 규제를 포함한 여러가지 방안이 전세계적으로 검토되고 있다. 즉 Co₂ 배출량을 줄이기 위해 대체 에너지자원의 개발, 에너지 이용기기의 효율향상 등 각종 에너지절약기술개발이 활발하게 추진되고 있으나 아직까지 효과적인 방안이 제시되지 못하고 있는 현실에 비추어 볼 때 이들 화석 에너지의 사용량을 줄일 수 있는 기술개발이 시급히 요청되고 있다.

우리나라의 경우 그 동안 건물의 단열기술과 고효율 에너지 사용 기기의 개발 등과 같은 분야에서는 비교적 많은 발전을 이룩하였으나 태양열, 지열 등과 같은 각종 자연 에너지의 이용이나 하천수, 하수처리수 등과 같은 도시형 저급폐수열 등의 폐열이용은

극히 부진하였다. 특히, 산업화 사회의 전개에 따른 도시화의 급속한 진행으로 일상생활에서 다량으로 배출되는 폐수는 자동차 배출가스와 함께 도시 고온화 현상을 야기시키는 중요한 원인이 되고 있으므로 에너지자원으로서의 경제적인 측면에서 뿐만 아니라 환경보호 측면에서 적극적인 이용이 검토되어야 한다.

즉, 수도권인 신도시와 대도시를 중심으로 지역난방시설과 같은 집단에너지 공급시설이 활발하게 보급되면서 민생용으로 소비되는 에너지량이 급증하고 도시형 공장이나 근린생활 시설이 집중화되면서 이들로부터 배출되는 폐수에 함유된 에너지의 밀도가 높아져 생활배수나 하수처리장에서 배출되는 처리수에 함유된 폐열(이하 "폐수열")은 에너지자원으로서의 잠재력이 크게 높아지고 있는 것으로 판단된다. 따라서 우리나라와 같이 에너지자원이 절대적으로 부족한 나라에서는 에너지절약을 통한 자원의 확보 측면에서 뿐만 아니라 장차 예상되는 에너지 수급에 대한 환경변화에 적극적으로 대응하기 위해 이들 폐수열의 효과적인 이용

에 대해 관심을 가질 필요가 있다.

본고에서는 이러한 사회적인 환경변화에 따라 폐수열의 열원으로서의 특성분석과 함께 이용에 따른 기술적인 문제점, 외국의 활용현황 등을 분석하여 아직 활용이 거의 전무한 국내에서의 유효한 이용방안을 제시하고자 한다.

2. 폐수열에너지의 利用

2.1 저급에너지 利用의 意味

원자력 등과 같이 화석에너지를 대체할 수 있는 대체에너지들이 개발되어 실용화되고 있지만 아직까지 완전히 대체할 수 있는 단계까지는 이르지 못하고 있다. 또한, 우리 주위에는 에너지자원으로서 존재하고 있지만 경제성 등 여러가지 이유 때문에 실용화되지 못하고 있는 많은 저급의 未活用 에너지들이 있다. 이러한 저급에너지에는 태양열, 바람, 파도, 조류, 지열 등과 같은 자연계에 존재하는 저온, 저밀도에너지로부터 주로 열의 형태로 인간의 일상적인 도시생활 과정에서 발생하는 폐열 등이 있다. 이와 같이 미활용에너지의 종류는 매우 광범위하여 간단하게 설명할 수는 없지만 본고에서 추구하고 있는 궁극적인 목적에 비추어서 그 개념을 후자의 경우로 국한시키도록 한다. 지금까지 우리 인간이 사용해온 에너지는 대부분이 경제법칙에 따라 쉽게 이용할 수 있는 저가의 에너지원으로부터 순차적으로 이용하여 있다. 철저한 採集經濟에 의존해 왔던 원시시대의 무료에너지 시대로부터 현재와 같은 고가의 유료에너지시대에 이르기까지 에너지의 가격은 계속 상승하고 있으며 보다 값싼 에너지자원을 얻기 위한 노력은 계속되고 있다. 우리가 아직 사용하지 않고 있는 대부분의 未活用에너지는 이러한 경제원칙에서 벗어나 있었기 때문에 활용에 거의 관심을 기울이지 못하고 있었다. 즉, 기존의 화석에너지자원들은 비교적 쉽게 유효에너지로 변환시킬 수 있는

데 반하여 이들 저급에너지자원들을 유효화시키기 위해서는 기술적, 경제적으로 해결해야 될 많은 과제를 안고 있다. 그러나, 오늘날에 있어서는 부존자원량의 확보뿐만 아니라 보다 심각한 문제로 대두되고 있는 지구환경의 보존문제 때문에 경제성 일반도에 의한 종래의 선택기준이 크게 바뀌어 다양한 에너지를 병용해야만 하는 시대를 맞이하게 되었다. 이와 같이 미활용에너지의 활용은 에너지수급의 환경변화에 적극적으로 대처하고 에너지절약을 통한 에너지자원을 확보할 수 있는 기반을 마련하는 데에 의미가 있다.

2.2 未活用에너지의 種類

전술한 바와 같이 인간의 일상생활을 통해 인위적 혹은 자연적으로 발생하는 未活用에너지는 표. 1에 나타낸 것과 같이 종류와 형태 그리고 부존량 등이 매우 다양하다. 표에서 보는 바와 같이 주택, 대형점포, 목욕탕, 수영장, 스케이트장, 지하생활공간 등 우리들의 일상생활과 밀접한 관계가 있는 시설로부터 배출되는 熱에너지는 온도 수준이 약 40℃ 이하이고, 양도 비교적 적기 때문에 단위별로 이용하기에는 다소 문제가 있다. 또한, 대량의 OA기기들이 설치되어 있는 전산센터와 지중송전선 등은 폐열 에너지의 온도수준과 시설의 성격상 이용에 많은 제약을 받으며, 철강업과 화학플랜트 등에서는 대량의 고온 폐열이 배출되고 있지만, 대부분 수요지에서 멀리 떨어져 있고, 배출량의 변동 폭이 크기 때문에 안정된 에너지 공급원으로 사용하기에는 어려운 점이 많이 있다.

이와 같은 점을 종합적으로 고려할 때, 대규모의 열에너지를 이용할 수 있는 폐열이 발생하는 곳은 냉동창고·지하철·변전소·하수처리장·쓰레기소각장·화력발전소 등과 같은 대형시설로 생각된다. 그러나 未活用에너지의 이용여부는 수요측과 에너지원과의 양적, 시간적인 관계를 고려하여 결정

표 1 未活用에너지원의 종류 및 특성

排出源	에너지源의 種類	形態	溫度範圍	賦存量
近 隣 生活 施設	住 宅	溫 水	5~20℃	少
	大 型 店 鋪	空 氣	5~40℃	少
	沐 浴 湯	溫 水	5~35℃	少
	水 泳 場	溫 水	10~25℃	少
	스 케 이 트 場	空 氣	15~30℃	少
	地 下 商 街	空 氣	5~30℃	少
特 殊 施設	冷 凍 倉 庫	空 氣	15~35℃	少~中
	OA 機 器 및 컴 퓨 터 실	空 氣	10~35℃	少~中
公 共 施設	地 下 鐵	空 氣	10~30℃	中
	變 電 所	溫 水	10~25℃	中
	地 中 送 電 線	溫 水	10~20℃	少
	下 水 處 理 場	溫 水	15~25℃	多
	쓰 레 기 燒 却 場	溫 水 蒸 氣	15~30℃ 110~150℃	多
	火 力 發 電 所	溫 水 蒸 氣	10~150℃ 110~150℃	多
企 業 工 場	溫 水 蒸 氣	10~150℃ 110~150℃	多	

하여야 한다.

2.3 廢水熱의 特徵

각종 미활용에너지를 回收하여 재활용하는 것은 도시에서 소비하는 에너지의 소비량을 감소시켜 오늘날 세계적인 관심사로 대두되고 있는 지구의 온난화 방지에 크게 기여할 수 있다는 점이다. 특히, 도시에서 발생하는 廢熱의 약 40%는 폐수열의 형태로 배출되고 있으므로, 이 폐수열의 열특성을 파악하고 熱펌프기술 등 관련 기술을 확립시키는 것이 폐수열에너지의 유효이용에 필수적이다.

현재, 사용하고 있는 熱펌프는 공기열원 열펌프 시스템이 일반적이지만, 우리나라에

서는 에너지원으로 사용하기에는 기후조건에 문제가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 높은 성적계수를 유지할 수 있도록 하기 위해서는 난방기에는 공기보다 온도가 높고, 냉방기에는 낮은 廢水熱을 熱源으로 활용하는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.

熱源으로서의 廢水熱의 特性을 살펴보면 우선 공기와 비교할 때 온도가 안정되어 있고, 일상 생활에서 배출되고 있는 막대한 양 중에서 일부를 熱源으로 이용하기 때문에 양적으로 매우 풍부하므로 시스템의 성능을 고성능으로 유지할 수 있는 조건을 갖추고 있다는 점이다.

또한, 보통의 냉방시스템의 경우 건물에서 회수한 배열은 냉각수에 의해 냉각탑을 통해 대기중으로 직접 방출되기 때문에 대도시의 고온화 현상이 발생하는 원인이 되고 있다. 그러나, 廢水를 냉각수로 이용하면 도시의 열대화 현상을 방지하는 효과가 있을 뿐만 아니라 냉각탑에서의 방열은 항상 냉각수의 증발을 동반하므로 계속하여 물을 보급할 필요가 있으나 廢水를 이용할 경우에는 냉각을 위한 물의 보급이 불필요하므로 갈수기에도 효과적으로 대처할 수 있는 장점이 있다.

이와 같이 廢水熱은 熱源으로서 많은 장점을 가지고 있지만, 廢水는 우리의 일상생활과정에서 배출되는 각종 오염물질을 많이 포함하고 있기 때문에 熱源으로 이용하기 위해서는 ① 廢水의 수질로 인한 전열관의 부식, ② 廢水에 존재하는 부유 이물질에 의한 전열관의 폐쇄, ③ Slime, Scale 등에 의한 관로폐쇄 및 熱交換器의 전열성능 저하 등을 방지하기 위한 대책이 수립되어야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 초기투자 비용이 많이 소요되어 지금까지 활발하게 이용되지 못하였지만 최근 이러한 문제를 해결하기 위한 기술, 즉 廢水를 열원으로 사용하는 데 필요한 각종 산업기술(전열촉진기술, 가공기술)의 발달과 환경의 중요성 및

자원의 유효이용에 대한 의식수준의 향상으로 廢水熱의 이용가능성이 매우 높아졌다.

이상에서 살펴 본 열펌프 열원으로서의 폐수열의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 공기에 비해 여름에는 온도가 낮고, 겨울에는 훨씬 높기 때문에 성적계수가 높은 열펌프시스템을 구성할 수 있다.
- (2) 폐수는 일상적인 생활과정에서 비교적 많은 양이 일정하게 배출되므로 이를 효과적으로 이용하면 시스템의 성능을 안정되게 유지할 수 있다.
- (3) 여름철의 냉방기에 냉각수로 사용할 수 있어 보통 냉동기의 냉각탑으로 배출되는 열을 억제하여 도시의 온난화 현상을 방지할 수 있고, 건물 하중에 큰 영향을 미치는 냉각탑의 중량 및 냉각수량을 줄일 수 있는 부차적인 효과도 얻을 수 있다.
- (4) 폐수열은 생활과정에서 배출되는 각종 이물질로 오염되어 있기 때문에 수질로 인한 부식문제, 부유 이물질에 의한 관로의 폐쇄문제, Scale 및 Slime의 생성에 의한 열교환기의 전열성능 저하문제 등이 선결되어야 한다.

3. 폐수열의 이용 현황

지금까지 廢水熱은 저온·저밀도의 특성을 갖고 있어 열원으로서 경제성이 없을 뿐만 아니라 이를 효과적으로 이용할 수 있는 관련 기술이 부족하였기 때문에 우리나라에서는 거의 無用에너지로 취급되어 왔다. 그러나, 생활수준이 향상되어 에너지소비량이 증가함에 따라 배출되는 廢水熱의 에너지밀도가 높아져 경제성이 높아지고, 환경에 미치는 영향이 크다는 것이 알려지면서 유효이용에 대해 깊은 관심을 갖게 되었다. 따라서, 이들 에너지의 유효자원화를 위한 기술들이, 정부차원의 적극적인 지원을 받아 개발됨으로써 이에 대한 적용사례가 활발하게 발표되고 있다.

적용사례를 국내외로 나누어 그 이용현황을 살펴본다.

3.1 국내현황

우리나라에서는 아직까지 폐수열을 이용하여 순수한 냉·난방의 熱源으로 사용한 결과를 공식적으로 발표한 예가 거의 없다. 그러나 에너지를 대량으로 사용하는 업소에 대해서는 폐열회수장치를 설치하도록 법적으로 규정하여 시행하고 있다.

즉, 에너지를 대량으로 소비하면서 비교적 고온의 廢水熱이 발생하는 건물에 대해서는 대통령령 제12022호(1986. 12. 29)의 건축법 시행령 제11조 1항으로 폐수열 회수장치를 설치할 것을 명시하여 의무화하고 있으며, 건축법 시행령 제24조 2항에서는 연면적인 합계가 500m² 이상인 일반 대중목욕탕, 특수목욕탕 또는 실내수영장에 대한 건축허가 신청시 반드시 해당 건축물에 대한 에너지 절약 계획서를 제출토록 함으로써 에너지의 합리적 이용방법을 유도하고 있다.

또한, 공중위생법 제3조 1항에서 일반목욕탕 중 공동목욕탕과 사우나탕에 대해서는 부대시설로 廢水熱 회수장치 등 적절한 에너지 절약기기를 설치하도록 규정하여 에너지 절약을 유도하고 있다. 그러나 이들 시설을 설치함으로써 얻은 에너지절약의 효과에 대해서는 아직까지 명확히 분석된 자료가 없을 뿐만 아니라 설치후의 이들 시스템에 대한 유지·관리 기준이 없어 운영에 대한 사후관리 및 대책이 거의 이루어지지 않고 있기 때문에, 실질적으로 廢熱의 回收가 효과적으로 이루어진다고 보기는 어려운 실정이다. 따라서, 이러한 제도의 시행효과에 대해서는 실제로 많은 의문이 제기되고 있다.

에너지 절약기술의 개발을 촉진시키기 위해 우리나라에서는 에너지자원기술개발지원센터에서 주관이 되어 업무가 이루어지고 있으며, 현재 시행되고 있는 대표적인 지원 제도를 표 2에 나타낸다.

표 2 에너지절약기술개발 지원제도

사 업 명	지 원 단 계	지 원 대 상	지 원 내 용	재 원
에너지절약기술 개발사업	기술개발단계	연구개발수행자, 전문관리기관	보 조	정부출연, 석유사업기금, 한전·가스공사 R&D자금
			3% 용자 (민간부담금)	석유사업기금
에너지절약기술 실용화 사업	실용화단계	개발된 기술의 실용화시범설치자	5% 용자	석유사업기금
에너지이용효율 향상 사업	상용화 및 보급단계	생산설비설치자, 설비수요자	10% 용자	석유사업기금 에너지이용합리화기금

3.2 외국현황

廢水熱의 회수·이용은 스웨덴, 노르웨이 등 유럽에서 처음으로 시작되었으며, 본격적으로 관심을 갖기 시작한 것은 제 1·2차 석유파동을 겪으면서 부터라 할 수 있다. 즉, 이때부터 에너지자원에 대한 중요성이 높아져 저온·저밀도 에너지의 이용을 위해 열펌프를 비롯한 각종 에너지절약기술개발에 관련된 연구가 활발하게 진행되면서, 각종 기술이 개발되고 성능이 크게 향상됨으로써 종래에 등한시 해오던 이들 廢水熱의 유효이용에 대한 관심이 한층 높아지게 되었다. 특히, 부존자원이 절대적으로 부족한 일본에서 연구가 활발하게 진행되어 많은 실용화 예가 발표되고 있다.

일본에서 생활하수 또는 하수처리수를 열펌프의 熱源으로 이용한 최초의 시설로서는 東京都 下水道局에서 동경에 설치한 펌프장의 시설을 들 수 있으며, 그후 東京·横浜·名古屋·大阪 등 각 지방의 하수처리장에서도 하수처리를 열펌프의 熱源으로 하는 열펌프시스템을 설치하여 처리장 내에 위치한 건물의 냉·난방 및 급탕에 이용하고 있다.

또한, 東京電力에서는 폐수열원 열펌프 급탕시스템을 新宿區에 있는 Washington Hotel에 설치하여 운전비용을 종래의 보일러 방식에 비해 약 30% 이상 절감시켰다.

대규모 지역냉난방의 熱源으로서 하수처리수를 이용하는 사례로서는 동경 근교에 건설중인 新都市인 蕪張 High-tech Business 지구의 열공급 설비를 들 수 있다. 바다의 매립지위에 신도시를 건설하기 위해 약 10년 전부터 추진하고 있는 이 사업에서는 도시 전역의 업무용 빌딩에서 필요한 냉·난방에너지의 70~80%를 廢水熱로 충당하도록 계획하고 있다. 이 밖에 현재 건설중인 많은 신도시에서도 폐수를 熱源으로 하는 열펌프 시스템이 주열원 장치로 사용되어 수용열량의 70~80%를 충당하도록 계획 또는 건설중에 있음은 일본과 에너지 실정이 비슷한 우리나라로서는 주목할 일이다.

표 3.은 일본에서 설치하여 사용되고 있는 대표적인 폐수열 이용시스템의 예를 나타낸다.

일본에서는 廢水熱뿐만 아니라 각종 저온·저밀도의 未活用에너지를 효과적으로 이용할 수 있는 기술개발을 촉진시키기 위해 오래전부터 정부차원에서 각종 지원제도를 만들어 운영하고 있다.

한편, 유럽지역 특히 북부유럽에서는 인구가 밀집되어 있는 대도시의 주거지역에 폐수열이 냉난방열원으로서 널리 이용되고 있다. 이 지역에서는 이미 오래전부터 이러한 열공급시설이 도시지역에서 극히 제한적으로 이용되어 왔었다. 그러나 최근에 특히

표 3 일본의 廢水熱 이용사례

No.	處理場名	管理者	冷房/暖房容量 (MW/h)	下水의 種 類	運轉開始 時 期	備 考
1	落合處理場	東京都 下水道局	0.62/0.58	處理水	1987	使用下水處理水量: 약 1,000m ³ /日, 熱交換器內의 自動洗滌裝置 設置
2	湯島펌프場	東京都 下水道局	0.20/0.07	生下水	1988년	使用下水處理水量: 약 3,000m ³ /日, 熱交換器內의 自動洗滌裝置 設置
3	金澤處理場	構浜市 下水道局	0.13/0.17	處理水 生下水	1988년	熱交換器內의 自動洗滌裝置 設置
4	名城處理場	名古屋市	0.09/0.10	處理水	1988년	
5	木場펌프場	東京都 下水道局	0.28/0.28	生下水	1989년	使用下水處理水量: 약 1,500m ³ /日, 熱交換器內의 自動洗滌裝置 設置
6	新河岸處理場	東京都 下水道局	0.35/0.34	處理水	1990년	
7	今池處理場	大阪府	0.32/0.43	處理水	1990년	
8	幕場 Techno Garden	東京電力	42.2/42.3	處理水	1991년	空氣熱源 熱펌프에 비해 夏期 約 15%, 冬期 約 40%의 에너지절약 효과 熱交換器에 自動洗滌裝置 設置

활발한 이용을 보이고 있는 것은 관련기술의 발달과 함께 폐수열의 경제성이 높아지고, 환경오염을 줄일 수 있는 냉난방시스템이라는 인식이 확산되었을 뿐만 아니라 기후조건이 공기열원 열펌프의 사용에는 적합하지 않다는 점 등이 주요한 동기가 된 것으로 생각된다.

특히 스웨덴, 노르웨이 등은 하수열을 이용한 지역냉난방 열공급시설이 활발하게 건설되어 도시단위로 대규모의 시스템이 가동되고 있는 것으로 알려져 있으며, 전형적인 형태의 하수열을 지역 열공급에너지원으로 사용한 시설로서는 노르웨이의 수도 오슬로에 설치된 Sandvika Plant가 있다. 이 Plant는 생활폐수를 열펌의 열원으로 하고 동시에 여름철에는 냉각수로 이용하는 지역 열공급 시스템이다.

이곳에서 廢水を 熱源으로 채용하게 된 주요한 이유는 기후조건이 공기열원 熱펌프에는 적합하지 않으나 生活廢水는 연중 10~18℃ 정도로 온도수준이 비교적 높아 熱源으로서의 경제성이 높고, 온도가 연중 안정되어 있어 시스템의 성능을 안정적으로 유지할 수 있다는 점과 生活廢水는 하수처리수와는 달리 열수요처와 위치적으로 가까이 있기 때문에 용이하게 이용할 수 있다는 점에서 착안하였다.

또한 스웨덴의 하수처리수를 熱源으로 이용한 지역난방시스템의 일례로서 Stockholm의 Hammaby Plant가 있다. 여기에서는 약 2km 떨어진 하수처리장으로 부터 지역냉난방 Plant까지 암반을 뚫어 관통한 Tunnel을 통해서 하수처리수를 끌어들여 열원으로 이용하고 있다.

표 4 유럽의 生活廢水熱 이용 Plant

No.	國名	處理場名	暖房容量(MW/h)	下水의 處理	運轉開始時期	備考
1	덴마크	FREDERIKSHAVN	7.8	處理水		
2	이탈리아	FEGGIO EMLLIA	2.3	處理水		
3	노르웨이	BAERUM	14.0	處理水		
4	노르웨이	OSLO-SANDVIKA	24.0	生下水	1988년	기름보일러에 비해 CO ₂ sms 27,000t/年, SO ₂ 는 170t/年으로 감소. 道路의 밑에 熱供給 pipe line을 설치하여 營業을 행하고 있음
5	노르웨이	OSLO-SKOYEN VEST	8.4	生下水	1985년	
6	스웨덴	GOTEBORG	148.0	處理水		
7	스웨덴	LUND	50.0	處理水		
8	스웨덴	STOCKHOLM-HAMMABY	114.0	處理水	1986년	스톡홀름 最大의 處理場 (HENRIKSDAL)
9	스웨덴	SOLNA-SUNDBYBERG	120.0	處理水	1986년	石油依存度 50% 이상하를 목표로 설치

표 4. 에 북부유럽에 건설된 대표적인 Plant의 예를 나타낸다.

3.3 폐수열의 이용효과

폐수열의 이용은 에너지절약효과 뿐만 아니라 CO₂, NO_x 등 공해물질의 배출을 크게 감소시킬 수 있어 환경보호의 효과가 크다는 점에서 중요성이 부각되고 있다.

하수처리수를 熱源으로 사용한 지역냉난방시스템의 효과를 파악하기 위해 일본에서 분석한 자료에 의하면 상당한 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 즉, 일본의 관동·관서지구를 시범구역으로 선정하여 에너지절약 및 CO₂, NO_x 발생의 억제효과를 Simulation한 자료를 표 5. 에 나타내었다.

표에서 보는 바와 같이 약 34%의 에너지 절약 효과와 약 68%의 CO₂, 및 75%의 NO_x 발생억제 효과가 있는 것으로 분석하고 있다. 이러한 분석결과를 볼 때 폐수열의 유효

이용에 대한 중요성을 짐작할 수 있다.

4. 廢水熱의 資源調查

4.1 廢水熱源의 分布

폐수열의 부존자원을 파악하기 위해서는 폐수의 배출량을 파악하는 것이 가장 중요하다. 산업시설에서 배출되는 産業廢水는 자체적으로 갖추고 있는 폐수처리장을 거쳐 배출되므로 부존량을 파악하기가 비교적 용이하지만 주거단지, 병원, 호텔, 사무소건물 등에서 배출되는 도시형 廢水量은 이들 시설이 광범위하게 산재되어 있기 때문에 이들을 단위별로 구분하여 회수가 가능한 에너지의 부존량을 파악하는 것은 상당한 어려움이 있다.

그러나 하수도가 보급되어 있는 곳에서 배출되는 廢水는 대부분 하수처리장으로 유입된다고 볼 수 있으므로 이들 지역에서 廢

표 5 生活廢水熱源의 이용효과 분석

항목 \ Plant명	關 東 地 區	關 西 地 區
대 상 면 적	3,600,000m ² 내역 : 주택시설 - 17% 업무시설 - 61% 상업시설 - 4% 문화시설 - 18%	1,200,000m ² 내역 : 주택시설 - 37% 업무시설 - 31% 상업시설 - 21% 문화시설 - 11%
연간에너지부하	냉방부하 : 386,000Gcal /년 난방부하 : 224,000Gcal /년	냉방부하 : 114,000Gcal /년 난방부하 : 87,000Gcal /년
에너지소비량	<ul style="list-style-type: none"> • 하수이용 시스템 냉방기(하수평균온도:23℃, COP=4.53) - 열펌프시스템 전기에너지 소비량: 85,000Gcal /년 1차환산에너지(발전효율:0.35): 243,000Gcal /년 - 냉동기(흡수식, COP=1.05) 1차환산입력에너지:368,000Gcal /년 난방기(하수평균온도:11℃, COP=3.90) - 열펌프시스템 전기에너지 소비량: 57,000Gcal /년 1차환산에너지(발전효율:0.35): 163,000Gcal /년 - 보일러(석유용, 효율=0.9) 1차환산입력에너지:249,000Gcal /년 	<ul style="list-style-type: none"> • 하수이용 시스템 냉방기(하수평균온도:23℃, COP=4.53) - 열펌프시스템 전기에너지 소비량: 25,000Gcal /년 1차환산에너지(발전효율:0.35): 72,000Gcal /년 - 냉동기(흡수식, COP=1.05) 1차환산입력에너지:109,000Gcal /년 난방기(하수평균온도:11℃, COP=3.90) - 열펌프시스템 전기에너지 소비량: 22,000Gcal /년 1차환산에너지(발전효율:0.35): 63,000Gcal /년 - 보일러(석유용, 효율=0.9) 1차환산입력에너지:97,000Gcal /년
효과	에너지절약율 : 34% CO ₂ 감소율 : 68% NO _x 감소율 : 75%	에너지절약율 : 34% CO ₂ 감소율 : 69% NO _x 감소율 : 75%

수로 배출되는 열에너지의 부존량은 하수처리량을 이용하여 간접적인 추산이 가능하다.

'93년에 서울을 비롯한 전국에 설치된 각 하수처리장에서 보유하고 있는 處理容量은 표 6. 과 같다.

'93년에 우리나라의 전국 하수처리장이 보유하고 있는 하수처리 용량은 782만m³/일로 이것을 기준으로 할 때 하수처리장에서부터 방류되는 하수량은 연간 약 28억5천만 m³이 된다.

하수처리장으로 유입되는 하수의 겨울철 수온은 평균 8~12℃를 유지하는 것으로 알

려지고 있다. 이것으로부터 열을 回收하기 위해 전체 하수처리량의 약 1%를 이용하고, 이용 온도차를 1℃라고 가정하면, 이용이 가능한 에너지의 부존량은 28,543Gcal /년이다. 이것은 '91년도 우리나라의 가정·상업용 에너지 수요량 211,635Gcal /년의 약 13%에 상당하는 막대한 양이다. 에너지자원으로서 廢水熱의 이러한 풍부한 부존량과 열적특성을 감안하여 효과적인 廢水熱 이용 시스템을 설치하기 위해서는 대상지역에 대한 廢水熱의 특성분석이 선행되어야 한다.

4.2 廢水熱特性 調査

표 6 하수처리장 처리용량 현황('93년말 현재)

시·도	처리장명	처리용량 (천톤/일)	사업기간	총사업비 (백만원)	처 리 방 법	방 류 수 역
계	(43개소)	7,195.3		1,436,205		
서울 (4)	중랑천 (하남포함)	1,460	'90~'92	167,200	표준활성슬러지법	한강(중랑천)
		600	'83~'91	84,900	표준활성슬러지법	한강(탄천)
	가양 (광명포함)	1,000	'84~'87	79,900	표준활성슬러지법	한강
		500	'84~'87	48,800	표준활성슬러지법	한강
부산 (2)	수영 장	286	'83~'88	50,100	표준활성슬러지법	남해(수영천)
		330	'86~'90	79,600	표준활성슬러지법	남해(낙동강)
대구 (2)	달서 신천	250	'83~'87	32,600	표준활성슬러지법	낙동강(금호강)
		350	'87~'92	122,200	표준활성슬러지법	낙동강(금호강)
인천 (1)	가좌	190	'87~'92	56,709	표준활성슬러지법	서해
광주 (1)	광주	300	'85~'91	73,314	표준활성슬러지법	영산강(광주천)
대전 (1)	대전	150	'83~'89	32,255	표준활성슬러지법	금강(갑천)
경기 (11)	안양 (의왕·군포)	150	'87~'92	42,066	표준활성슬러지법	한강(안양천)
		60	'83~'87	10,720	표준활성슬러지법	한강(중랑천)
	의성 (분당)	340	'87~'93	103,865	표준활성슬러지법	한강(탕천)
		135	'90~'92	41,394	표준활성슬러지법	한강
	일과	30	'83~'86	9,100	표준활성슬러지법	한강(양재천)
		121	'81~'86	18,305	표준활성슬러지법	한강(서해)
	안구	50	'85~'89	12,619	표준활성슬러지법	한강(왕숙천)
		18	'89~'92	11,723	표준활성슬러지법	한강(경안천)
	용광	11	'90~'92	8,238	표준활성슬러지법	한강(경안천)
		10	'90~'92	11,134	표준활성슬러지법	한강
화양	7.8	'90~'92	11,376	표준활성슬러지법	북한강	
강원 (1)	춘천	75	'85~'89	25,770	표준활성슬러지법	북한강(공지천)
충북 (7)	청주 제1	150	'87~'91	35,871	표준활성슬러지법	금강(미호천)
		35	'89~'93	20,327	표준활성슬러지법	금강(창평천)
	문보	1	'85~'91	2,286	표준활성슬러지법	금강(대청댐)
		6	'90~'92	5,692	표준활성슬러지법	금강
	옥천	18	'90~'92	17,931	표준활성슬러지법	금강(대청댐)
		8	'90~'92	7,290	표준활성슬러지법	금강(영동천)
영양	5	'90~'92	3,900	표준활성슬러지법	남한강(충주댐)	
전북 (1)	전주	100	'89~'93	17,200	표준활성슬러지법	만경강(전주천)
전남 (3)	나주 광화순북	22.5	'90~'92	17,786	표준활성슬러지법	영산강
		5.5	'90~'92	2,819	표준활성슬러지법	남해
		2.0	'86~'89	1,400	표준활성슬러지법	동북
경북 (5)	경주 영천	25	'75~'78	857	표준활성슬러지법	형산강
		135	'81~'86	28,076	표준활성슬러지법	낙동강
	은진	25	'90~'92	15,708	표준활성슬러지법	낙동강
		6.5	'92~'93	5,604	표준활성슬러지법	동해(남대천)
		20	'92~'93	16,250	표준활성슬러지법	동해
경남 (2)	화주 회진	32	'87~'88	11,800	표준활성슬러지법	회야강
		110	'88~'93	55,716	표준활성슬러지법	남해
제주 (2)	제서귀 중문	60	'87~'93	34,487	표준활성슬러지법	남해
		5	'80~'82	1,227	표준활성슬러지법	남해

자료 : 첨단환경기술, 1995. 1, p.107

(1) 調查概要

廢水熱의 열특성을 조사하기 위하여 서울에 위치하고 있는 아파트단지과 하수처리장을 선정하였다.

아파트단지는 '93년에 완공되어 입주 완료된 24평형, 415가구로 구성되어 있다. 아파트단지에는 지역난방시설이 되어 있으며, 생활오수관과 배수관이 완전히 분리되어 시공되어 있다. 폐수온도는 열전대를 배수관로에 설치하여 측정하였으며, 1월부터 시작하여 9월까지 계속하였다. 또한, 廢水量은 실측이 곤란하므로 각세대에 공급된 급수·급탕량을 기록한 자료를 가지고 산출하였다.

하수처리장은 '87년에 완공되어 강남지역에서 배출되는 폐수를 하루에 60만톤까지 처리할 수 있는 용량을 보유하고 있는 곳을 선정하였으며, 온도는 처리수가 최종적으로 방류되는 위치에서 측정하였다.

(2) 調查結果 및 分析

1) 아파트단지 폐수열의 온도분포

'94. 1~'94. 8까지 측정된 월별 廢水의 온도분포를 그림 1~그림 3에 나타낸다. 이들 그림으로부터 매달의 온도분포를 보면 1월 및 2월 12.5~17.5℃, 3월 13.8~17.5℃, 4월 14.5~20.0℃, 5월 15~20℃, 6월 및 7월 20~25℃, 8월 23.8~27.5℃의 온도분포를 보이고 있다.

이들 그림에서 대체적으로 알 수 있는 바와 같이 1월, 2월의 난방기에는 약 12.5~17.5℃, 3월, 4월 및 5월의 중간기에는 대체적으로 14~20℃, 냉방기인 6월, 7월 및 8월에는 대체적으로 20~28℃의 온도분포를 보이고 있다.

이러한 廢水의 온도특성(온도수준, 배출 온도의 안정성)은 熱펌프의 성능을 높여주고 안정적인 성능을 확보할 수 있어 냉·난방열원으로 유효하게 이용할 수 있음을 보여주는 것이다. 즉, 이것은 공기를 熱源으로 사용하는 熱펌프에 비해 안정된 성능을 유지할 수 있는 시스템의 구성이 가능하다는

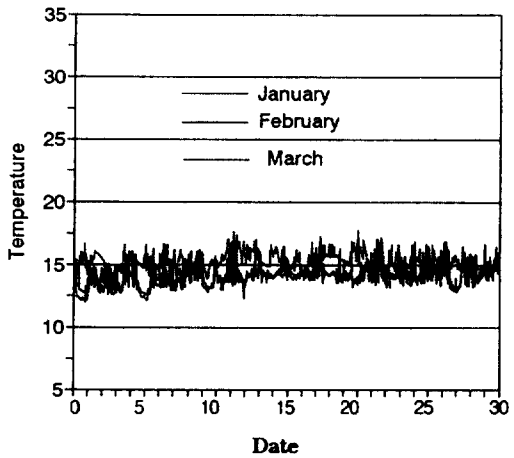


그림 1 아파트단지 폐수의 온도분포(1~3월)

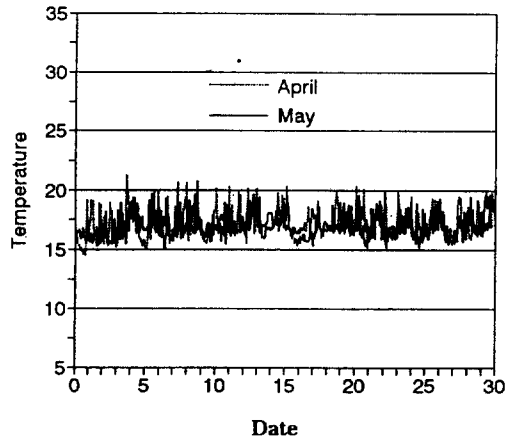


그림 2 아파트단지 폐수의 온도분포(4~5월)

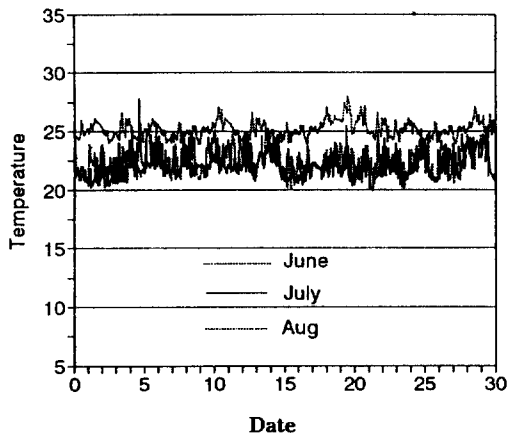


그림 3 아파트단지 폐수의 온도분포(6~8월)

것을 의미한다.

2) 하수처리장 처리수의 온도분포

그림 4~그림 7은 하수처리장에서 방류되는 처리수의 온도변화를 나타낸 것으로 측정기간중 외기온도가 가장 낮았던 시기를 발췌한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 외기온도는 -9.5~11.5℃로 커다란 편차를 보이고 있는데 비해, 처리수의 온도는 8.5~11.5℃의 비교적 안정된 분포를 보이고 있어 난방기 열펌프의 열원으로서 좋은 조건을 갖추고 있음을 알 수 있다.

위에서 언급한 아파트단지에서 배출되는 폐수하수처리수의 배출온도를 비교할 때 전자의 경우 월등히 높다는 점에서 열원으로

서 보다 양호한 조건을 가지고 있으므로 장차 에너지를 회수하는 시스템을 설치할 경우에는 주거단지내에 설비를 갖추는 것이 바람직스럽다는 것을 알 수 있다. 그러나, 이러한 경우에는 폐수량이 한정되어 있어 충분한 열원을 확보하기 어려우며 또한 별도의 폐수처리설비를 갖추어야 한다. 반면에 하수처리수는 온도수준이 비교적 낮지만, 수량이 풍부하고 온도가 안정되어 있어 시스템의 효율을 일정하게 유지시킬 수 있다는 장점이 있으므로 경제성 측면에서 검토가 이루어져야 할 것이다.

폐수를 열원으로 하는 열펌프시스템의 효과를 파악하기 위하여 아파트단지에서 배출

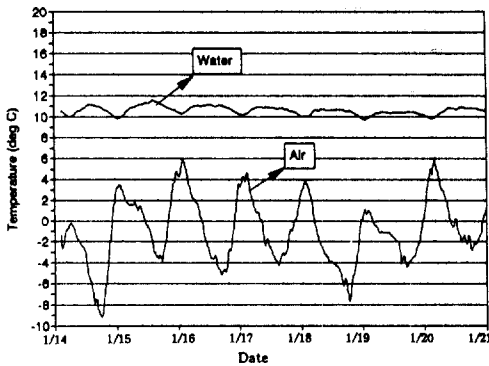


그림 4 하수처리수의 온도분포(1/14~1/21)

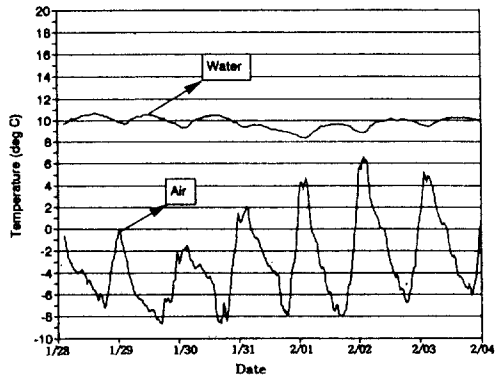


그림 6 하수처리수의 온도분포(1/28~2/04)

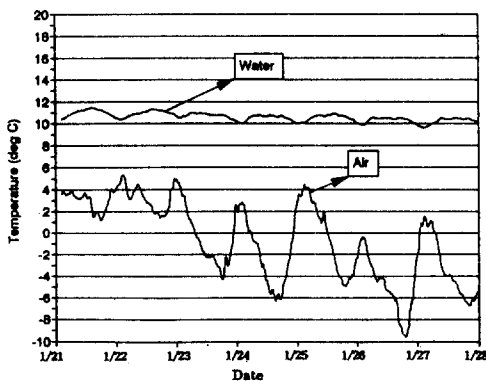


그림 5 하수처리수의 온도분포(1/21~1/28)

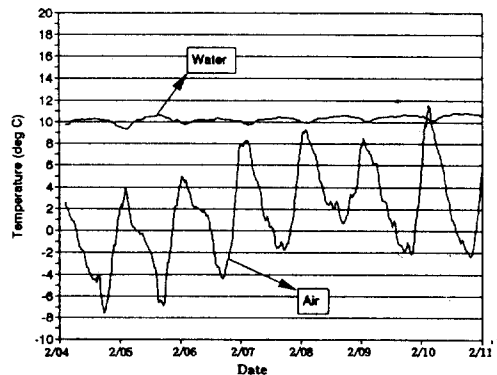


그림 7 하수처리수의 온도분포(2/04~2/11)

되는 폐수열을 열원으로 사용한 실험결과의 예를 다음에 제시한다.

5. 폐수열원 열펌프시스템의 운전예

5.1 열펌프시스템의 설계

냉난방 및 급탕에 열펌프시스템을 효율적으로 이용하기 위해서 냉방시에는 냉수온도를 5℃ 이하, 난방시에는 온수온도를 60℃ 이상으로 유지시키는 것이 바람직하지만 본 열펌프시스템에서는 초기온도 10℃인 축열조의 물을 약 45℃의 온수로 승온시켰을 경우의 운전결과에 대한 성능을 분석한 내용을 정리한 것이다.

시스템의 설계기준 온도는 열원의 온도가 약 15℃의 비교적 저온임을 고려하여 증발온도를 5℃, 응축온도를 50℃로 하고 과열도는 25℃, 과냉각도는 10℃로 하였으며, 기타

설계사양은 표 7과 같다.

5.2 열펌프시스템의 구성 및 실험방법

廢水熱 熱交換器인 증발기는 만액식으로 하고 전열관은 나선형 코일(coil)로 하여 廢水槽에 완전히 침적되도록 설치하였다. 전열관은 열원인 폐수에 함유된 다량의 오염물질로 인한 오염의 영향을 줄이기 위하여 돌기(fin)가 없는 裸管 형태의 일반 동관(KSD 5301)을 사용하였으며 내부식성을 향상시키기 위해 외부표면에 두께 0.05mm로 크롬(Cr)도금을 하였다. 증발기를 거쳐 나온 작동액은 기액분리기를 통해 압축기에 흡입되도록 하였고, 압축기 출구에는 유분리기(Oil separator)를 설치하여 전열성능의 저하를 방지하도록 하였다. 또한, 열원의 저온특성을 고려하여 열펌프시스템의 성능을 향상시킬 수 있도록 다수의 細管으로 구성된 2中管式 熱交換器 형태로 설계하였고, 팽창밸브는 감열식으로서 미국의 ALCO Controls Co.에서 제작한 TCLE 10을 사용하였다.

응축기는 Shell & Tube형으로 하고 응축관은 나선형의 동관을 사용하였으며, 전열관의 내면에는 Static Mixing Element를 삽입하여 난류운동을 형성하도록 하였다.

응축기로부터 응축열을 회수·저장하기 위해 용량 0.8m³인 축열조를 설치하고, 아파트로부터 배출되는 폐수를 집수할 수 있도록 지표면으로부터 4m 깊이에 폐수저장조를 설치하였으며, 폐수저장조 내에는 폐열을 회수하기 위한 증발기가 설치되어 있다.

폐수는 고형이물질을 제거하기 위한 전처리조를 거쳐 폐수저장조에 유입되어 증발기를 거쳐 자연스럽게 유출되도록 되어 있다. 폐수조와 전처리조에 유입된 고형물을 제거하기 위한 수중펌프가 설치되어 있고, 전열관의 표면에 형성된 Slime을 제거하기 위한 세척장치가 설치되어 있다.

폐수열원 열펌프의 성능은 위와 같은 구

표 7 열펌프시스템의 설계사양

번호	기 기 명	사 양	
1	작 동 유 체	R-22	
2	증 발 기	증발온도 : 5℃ (5.95kg/cm ² , abs)	
3	응 축 기	응축온도 : 50℃ (19.82kg/cm ² , abs)	
4	압 축 기	흡 입 온도	30℃
		토 출 온도	80℃ (19.82kg/cm ² , nbs)
5	냉 각 수 입 출 온도 차	5℃	
6	폐 수	최 저	12℃
		최 고	25℃
7	과 열 도	25℃	
8	과 냉 각 도	10℃	
9	가 열 능력	33,000 [Kcal/h]	

조를 갖는 실험장치를 이용하여, 폐수의 배출이 자연스럽게 유지되도록 한 상태에서 시스템을 작동시켜, 축열조에 저장되는 열량을 계산하여 성적계수를 산정하는 방법으로 구하였다.

5.3 實驗結果 및 分析

그림 8은 축열조내의 초기온도 18℃인 물의 온도를 40.2℃까지 상승시키도록 운전하였을 때의 축열조내의 온도변화를 나타낸 것으로 이때 걸린 시간은 50분이 소요되었으며, 소비된 전력량은 6.25kWh이었다. 한편, 실험을 하는 동안의 폐수의 유입온도는 14~18℃를 유지하였으며, 이때의 유량은 약 80[l/min]을 유지하였다.

따라서 이것을 성적계수로 환산하면 약 3 정도로써 이론 성능계수(약 5.2)보다 다소 낮은 결과를 나타내었다. 그러나 熱펌프에서 소비되는 전기를 생산하는 발전소의 발전효율을 40%라 할 때 熱펌프가 보일러에 비해 경제성을 갖기 위한 한계치인 2.5보다 높기 때문에 충분히 경제성을 확보할 수 있을 것으로 분석된다.

6. 廢水熱의 利用을 위한 課題

폐수열은 경제적, 환경적인 측면에서 열원으로서 높은 잠재력을 가지고 있지만 또

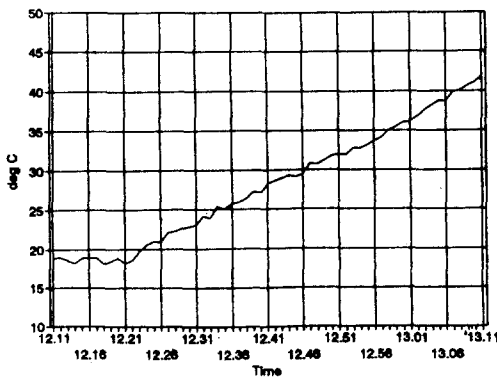


그림 8 열펌프의 폐열회수 성능

한 여러가지 측면에서 해결해야 될 문제점들을 안고 있다. 이러한 문제점들을 분석해보면 ① 법적 및 사회적인 문제, ② 경제적인 문제 및 ③ 기술적인 문제로 나눌 수 있다.

제도적인 문제로서는 하천의 廢水이용과 관련하여 하천관리법, 상·하수도법 등 각종 법규에 관련된 제약을 해결하여야 한다. 또한, 증기·온수·냉수 등의 대량 수송을 위한 도로와 공동구의 사용 등과 관련하여 지방자치단체와 전력회사 등과의 협조가 이루어져야 하며, 대량의 未活用에너지의 유효활용을 생각할 경우에는 에너지수급의 균형을 이루기 위한 제도적인 문제점을 분석하여야 하고, 시스템이 대용량일 경우 廢水의 양도 대량으로 소요되므로 경우에 따라서는 혐오시설로 인식될 수도 있어 이에 대한 고려가 따라야 한다.

경제적인 문제로서 廢水熱의 利用시스템은 운전개시후의 운전비용은 낮지만 체열설비, 배관, 축열조 등 대다수의 기기제작에 막대한 초기투자비가 소요되기 때문에 투자비 회수에 대한 경제성 분석이 이루어져야 한다. 또한 廢水熱 利用시스템에서는 熱源과 수요처가 비교적 멀리 떨어져 있으므로 열수송에 따른 비용 등 수요처에 대한 검토가 초기단계에서 충분히 검토되어야 한다. 경제성 측면에서 볼 때 대규모의 廢水熱 이용시스템을 건설하여 운영하는 것은 기업이나 지방자치단체만으로는 아직까지 현실적으로 감당하기 어려운 점이 많기 때문에 정부차원의 적극적인 지원을 중심으로 모든 관련 단체들과 완전한 협력체제를 갖출 필요가 있다.

기술적으로 해결해야 될 과제로서는 廢水熱源이 보유하고 있는 낮은 온도 수준과 각종 오염물질에 대한 대책이며 중요한 내용을 들면 다음과 같다.

(1) 전열성능의 향상기술

廢水熱源은 대개 중저온이며, 보유하는 에너지 밀도와 온도가 작기 때문에 이것을

유효하게 활용하기 위해서는 熱源과 작동유체간의 작은 온도차에서도 효과적으로 열전달이 일어날 수 있도록 전열촉진기술을 개발하여야 한다. 이와같이 온도차가 작은 조건에서의 전열기술은 유효에너지의 손실을 절감시키기 위해 중요하며, 이것을 실현하기 위해서는 전열촉진기술, 고성능 콤팩트 전열면개발 및 제작기술, 혼합냉매 이용기술과 같은 요소기술의 개발이 필요하다.

(2) 전열면의 오염방지기술

廢水를 熱源으로 할 경우에는 폐수에 포함된 汚物·汚泥 등 각종 오염물질에 의한 전열면의 오염을 방지하기 위한 대책을 강구해야 한다.

보통 폐수를 熱交換器에 넣기 전에 스크린과 스트레이너를 설치하여 각종 이물질을 제거하고, 전열면에 부착되어 있는 Scale과 Slime 등은 브러시와 같은 각종 세척장치를 熱交換器에 설치하여 제거하는 방법이 있다. 그러나 아직까지 이러한 전열면의 fouling에 대한 정확한 예측이나 방지·제거기술이 완전히 확립되지 못하였으므로 이에 대한 연구개발이 요구된다.

(3) 고효율 熱펌프 기술

廢水熱의 활용은 대부분이 냉난방·급탕인 것을 감안할 때 熱펌프 기술의 이용은 불가피하다. 熱펌프는 크게 나누어 압축식과 흡수식의 2종류가 있으며, 또한 압축식에는 구동원의 종류에 따라 전기식과 엔진식으로 구별되지만 熱源의 성질, 수요자의 요구사항 및 이용 규모 등을 고려하여 결정하여야 한다. 일본의 경우 전기압축식 熱펌프의 고효율화를 위해 1984년부터 Moon light 계획에 따라 체계적인 연구를 추진한 결과 현재 Super Heat Pump 시스템을 개발하여 熱펌프의 고효율화를 달성한 상태로 알려져 있으나 우리나라의 경우에는 이에 대한 연구·개발이 아직 미흡한 것으로 판단된다.

이밖에 廢水熱의 활용을 위한 종합효율의 향상을 실현하기 위해서는 축열기술의 개발이 필요하다. 즉, 에너지의 공급과 수요를

적절히 조절하는 것은 경제성 측면에서 중요하므로 열손실이 적고 응답성이 좋은 축열장치의 개발이 필요하다.

한편, 廢水熱源에서 熱펌프와 같은 에너지 변환시스템으로 또 에너지 변환시스템에서 수요측으로의 열수송기술도 시스템 전체의 효율향상 및 경제성 향상을 위해 매우 중요하다. 이것은 축열기술과 함께 해결해야 될 문제이기 때문에 적당한 단열 재료의 개발과 함께 열유체수송기술·단열기술·배관기술 등을 통한 효과적인 열수송기술이 개발되어야 한다.

7. 결 론

본고는 폐수열을 열원으로 하는 열펌프시스템의 이용효과를 제시함으로써 각종 도시미활용에너지의 중요성을 인식시켜 에너지절약을 극대화하여 세계적인 에너지수급의 환경에 대응할 수 있는 효과적인 방안을 모색하기 위한 데에 목적을 두고 있다. 이를 위해 국내외의 이용현황과 폐수열의 열원으로서의 자원 특성을 중점적으로 조사하였다.

시스템의 설계에 필요한 폐수열원의 특성을 파악하기 위해 선정된 아파트단지에서 배출되는 폐수열의 배출온도는 난방기 13~18℃, 냉방기 20~28℃의 온도분포를 갖고 있는 것으로 조사되어 열펌프시스템의 설계시 기준온도로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

우리보다 먼저 폐수열을 열원으로 이용한 선진국에서 실시한 환경오염에 미치는 개선효과의 분석에 따르면 석유용 보일러에 비해 CO₂는 68%, NO_x는 75%의 감소효과와 약 30%의 에너지절약 효과를 나타내고 있어 이들 에너지 활용의 중요성을 짐작할 수 있다.

참 고 문 헌

1. K.S. Varde, "Extraction of Sensible Heat from Waste Water for Domestic Heating Applications", *Alternative Energy Sources*, Vol.9, pp.4323~4332
2. R.H. Howell, 1991, "Heat Recovery in Buildings Using Water-Loop Heat Pump Systems", *ASHRAE Transactions*, In-91-8-3
3. 稻昌 昭彦, 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, 1992, pp.36~39
4. 二瓶 哲哉, 生活排水熱利用 ヒートポンプ給湯システムの開発, 建築設備と配管工事, '89. 7
5. 山口 幸勇, ヒートポンプによる低温廢熱の利用方式, 建築設備と配管工事, '75. 10
6. 川岸 隆之, エネルギー利用の効率化に向けて, 空気調和・衛生工学, Vol.66, No.6, 1992
7. 중수도시스템, 設備工事, 대한설비공사협회, 1993. 3
8. ASHRAE Handbook, 1985, Fundamentals
9. 未活用 エネルギー活用マニュアル, (財)エネルギー財團