

生活廢水熱源 熱펌프시스템 運轉特性 考察

신현준 · 박준택*

한국건설기술연구원 기전연구실, *한국에너지연구소

A Study on the Operating Characteristics of the Heat Pump System using the Municipal Waste Water as Heat Source

Hyun Joon Shin and Jun Taek Park*

Mechanical & Electrical Division, Korea Institute of Construction Technology

*Korea Institute of Energy Research

요 약

생활수준의 향상으로 따라 민생용 에너지의 소비량이 급격히 증가함에 따라 일상생활에서 발생하는 폐수의 양과 온도가 높아지면서 이들은 주요 에너지자원의 대상으로 부각되고 있다. 즉, 폐수열은 열원으로서의 경제성이 향상되어 에너지자원으로서의 잠재력이 높아지고 있으며, 또한 화석에너지의 과다 사용으로 인한 환경오염이 심각한 사회문제로 부각되면서 이들 에너지의 유효이용에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 일상생활에서 발생하는 생활폐수를 대상으로 냉·난방에너지원으로서의 활용 가치를 평가하기 위한 열특성을 파악하고, 이 폐수열을 열원으로 하는 熱펌프시스템을 제작·설치하여 운전 성능을 파악하므로써 장치의 에너지수요에 대응하기 위한 기초자료를 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 아파트 단지를 대상으로 폐수열의 계절별 온도분포를 측정하고, 열원의 특성에 적합한 폐수 열교환기, 세척장치 등 요소기기의 구조를 도출하였으며 이를 이용한 熱펌프시스템을 제작하여 성능실험을 수행하였다. 실험결과 난방기의 성적계수(COP)_h를 3.5이상으로 유지할 수 있는 비교적 경제성이 높은 熱펌프시스템의 구성이 가능한 것으로 나타났다.

Abstract—The purpose of this research is to investigate the potential of the waste heat contained in the municipal-waste-water and to develop the heat pump system using it as heat source. To estimate the overall potential of the waste heat, the temperature variations of waste water drained from the selected apartment complex and sewage treatment plant was measured. Also, to evaluate the performance of heat pump system using the sensible heat contained in the municipal-waste-water, the field test was carried out. The temperature range of the waste water drained in the selected apartment complex was between 12°C and 18°C in heating season. Also, the temperature of the discharged water in the sewage treatment plant was averaging 10°C. The waste water temperature did not drop below 7°C. A waste-water-source-heat-pump system equipped with the evaporator constructed four spiral-tube for waste heat recovery was installed in the apartment complex site in Seoul. The system was operated for one heating season. During that testing period, the coefficient of performance (COP) was 3~3.5.

1. 서 론

생활수준의 향상에 따라 쾌적한 생활환경에 대한 욕구가 증대되면서 각종 에너지의 사용량이 급속하게 증가하고, 또한 지구 온난화의 원인이 화석에너지의 과다 사용에 기인한 것이라는 점이 밝혀지면서 이에 대한

대책이 다각도로 검토되고 있다. 이러한 대책중의 하나로써 지금까지 주로 사용되어 오던 석탄 석유 등과 같은 화석에너지의 사용량을 줄이고 태양열을 중심으로 한 자연에너지의 유효이용과 일상생활에서 배출되는 각종 도시 未活用 에너지를 回收하여 재활용하기 위한 신기술 개발이 선진국을 중심으로 활발하게 추진되어

왔다. 그 결과 특히 廢熱의 回收 및 利用技術은 많은 발전을 이룩하여 일부 국가에서는 폐수처리수를 열원으로 하는 열공급시설까지 보급되고 있는 것으로 알려지고 있다.

에너지자원의 개발에 있어서도 종래에는 거의 모든 평가의 기준이 경제성에 주어졌으나 오늘날에는 환경에 미치는 영향이 중요시 되면서 자연에너지를 중심으로 하는 각종 청정에너지의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나, 이들 자연에너지의 유효이용기술이 본격적으로 실용화되기 위해서는 경제성 확보 문제로 앞으로 상당한 기간이 소요될 것으로 예상되므로 화석에너지 및 원자력에 대한 높은 의존도는 당분간 지속될 것으로 보인다.

한편, 산업의 발달과 도시화로 인해 주거밀도가 높아지고 대규모화되면서 이들로 부터 배출되는 廢水의 量과 溫度水準이 높아져 이들의 유효이용에 대한 관심이 한층 높아지고 있다. 즉, 주거단지 및 상업지역등 도시의 각종 근린생활시설로 부터 배출되는 廢水에 포함되어 있는 廢熱(이하 "廢水熱"이라 함)은 양적으로나 질적으로 熱펌프의 熱源으로서 높은 이용 잠재력을 지니고 있을 뿐만아니라 熱펌프기술을 비롯한 각종 관련 기술이 이미 상당한 수준에 이르고 있어 廢水熱을 熱源으로 하는 열공급시스템의 실용화는 어렵지 않을 것으로 생각된다.

우리보다 먼저 폐수열을 열원으로 이용하고 있는 선진국에서 실시한 에너지절약 및 환경 개선효과를 분석한 연구 결과에 따르면 석유용 보일러에 비해 CO₂는 68%, NO_x는 75%의 감소효과가 있으며, 약 30%의 에너지 절약효과가 있는 것으로 나타나고 있어 이들 폐수열 에너지의 유효이용의 중요성을 짐작할 수 있다¹⁾.

본 연구는 이러한 관점에서 폐수열의 에너지자원으로서의 활용 가능성을 평가하기 위해 아파트단지와 하수처리장을 선정하여 열원의 특성을 조사·분석하고 이를 열원으로 하는 熱펌프시스템을 제작하여 그 운전결과를 제시하므로써 장차 이들 폐수열 뿐만 아니라 이와 유사한 각종 도시미활용에너지의 활용방안을 모색하도록 하였다.

2. 폐수열의 이용 현황

2-1. 국내현황

목욕탕이나 실내수영장 등과 같이 에너지를 다량으로 소비하는 시설물에서 배출되는 廢水의 에너지밀도는 일반주택이나 상업시설에서 배출되는 生活廢水熱에 비하여 비교적 높기 때문에 에너지절약 측면에서 이를 회수하여 이용할 수 있는 폐열회수장치를 설치하도록 건축

법 시행령으로 규정하고 있다. 이러한 법적인 규정 때문에 해당이 되는 건축물에는 이들 시설이 설치되어 있으나 이로부터 얻어지는 에너지절약의 효과에 대해서는 아직까지 정확히 분석된 자료가 없을 뿐만아니라 또한 사후관리의 취약성 때문에 본 제도의 시행효과에 대해서는 실제로 많은 의문이 제기되고 있다.

더우기, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 생활폐수열은 겨울철의 평균온도가 약 10°C 전후의 저온으로서 이와 같은 미활용에너지에 대해서는 부존량에 대한 파악이나 경제성 분석 등과 같은 에너지자원으로 이용에 필수적인 기초조사도 이루어지지 않고 있다.

2-2. 외국현황

廢水熱을 냉·난방에너지로 이용하기 위한 시도는 스웨덴, 노르웨이 등 유럽에서 처음으로 시작되었으며, 본격적으로 유효이용에 관심을 갖기 시작한 시기는 제 1·2차 석유파동을 겪으면서 부터라고 할 수 있다²⁾. 즉, 당시의 상황에서는 에너지절약의 필요성이 매우 높았기 때문에 비록 저온 저밀도의 저급 에너지자원이지만 이들을 효과적으로 이용할 수 있는 각종 관련 기기에 대한 연구가 활발히 진행되면서 관련 기기의 성능이 크게 향상되어 종래에는 무용의 에너지로 취급되어 오던 이들 低溫廢水熱의 이용이 가능하게 되었다. 그후, 80년대 들어 부존자원이 절대적으로 부족한 일본에서 특히 이에 대한 연구가 활발하게 진행되어 많은 곳에서 실용화된 예가 발표되고 있다.

일본에서 하수처리수를 熱펌프의 熱源으로 이용한 최초의 시설로서는 東京都의 下水道局에서 운영하는 東京市內의 한 펌프장에 설치한 것을 들 수 있으며, 그후 東京 橫濱 名古屋 大阪등에서 운영하고 있는 각 지방의 하수처리장에서도 이러한 熱펌프시스템을 설치하여 처리장내에 위치한 건물의 냉 난방 및 급탕에 이용하는 소규모 시설이 널리 보급되게 되었다³⁾.

대규모의 지역냉난방에 응용한 대표적인 사례로서는 동경 근교의 幕張 High-tech Business 지구의 열공급설비를 들 수 있다. 여기에서는 필요한 냉 난방에너지의 70~80%를 廢水熱로 충당하도록 계획되어져 있으며, 이 사업이 성공적으로 이루어지면서 이를 모델로한 사업들이 활발하게 진행되고 있다⁴⁾. 즉, 현재 건설중인 많은 新都市에서도 廢水熱을 비롯한 각종 都市未活用에너지를 熱源으로 이용하는 시스템이 주열원공급장치로 사용되어 수요열량의 대부분을 충당하도록 계획되거나 건설중에 있어 에너지사정이 일본과 비슷한 우리의 현실에 비추어 볼 때 주목할 일이다.

핀란드, 스웨덴 등 북유럽의 국가에서도 인구가 밀집되어 있는 대도시의 주거지역을 대상으로 廢水熱을 이용

한 냉 난방시스템이 널리 보급되고 있다. 이들 지역에서는 이미 오래전부터 이러한 열공급시설이 도시지역에서 극히 제한적으로 이용되어 왔으나 관련기술의 발달과 함께 廢水熱의 경제성이 높아지고, 환경에 대한 관심이 높아지면서 환경오염을 줄이기 위해 화석에너지의 사용을 억제할 수 있는 대안이 될 수 있다는 가능성이 인식되면서 국가적인 차원에서 보급이 이루어지고 있다.

특히, 스웨덴은 하수열을 이용한 대규모의 시스템이 가동되어 지역 냉난방열공급시설로 이용되고 있으며 그 중에서 오슬로의 Sandvika Plant는 하수열을 이용한 지역 냉난방시스템의 가장 대표적인 것으로 알려져 있다³⁾.

3. 폐수열원의 열특성 조사

3-1. 조사개요

도시형廢水는 주거단지, 호텔, 병원, 사무소건물 등 근린시설에서 배출되는 것으로 제한하여 공장등 산업시설에서 배출되는 産業廢水와 구별되며, 도시형廢水중에서 아파트단지, 단독주택 등의 주거단지로부터 배출되는 廢水를 生活廢水로 칭하여 다른 시설로부터 배출되는 도시형 廢水와 구별하였다.

본 조사에서는 폐수열의 특성을 조사하기 위해 415세대로 구성된 아파트단지에서 배출되는 폐수와 서울시에서 운영하고 있는 하수처리장에서 배출되는 처리수를 대상으로 선정하였다. '94년 12월부터 '95년 3월까지를 측정기간으로 하여 폐수온도를 측정하였다. 단지로부터 배출되는 廢水는 도시지역에 광범위하게 분포되어 있기 때문에 에너지의 부존량을 산정하기가 어려우므로 실제로 이들 폐열을 이용하는 관련시설을 설치할 때에는 해당지역의 廢水排出量을 조사하여 측정된 온도와 함께 설계에 이용하여 적절한 시스템이 설치되도록 하여야 한다.

3-2. 조사결과 및 분석

3-2-1. 폐수 온도특성

'95.1~'95.3월까지 아파트단지로부터 측정된 월별 廢水의 온도분포를 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에 표시하였다.

이들 그림에서 대체적으로 알 수 있는 바와 같이 1월 11°C~15°C, 2월 12.5°C~17°C, 3월 14°C~17.5°C의 온도분포를 보이고 있으며 온도차도 약 5°C 정도를 보이고 있다.

한편, 하수처리장의 처리수를 대상으로 '95. 1~ '95. 2에 측정된 결과를 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 외기온도가 -10°C~11.5°C의 온도분포를 보이는 데 비해 폐수처리수의 온도는 8.5°C~11°C의 비교적 안정된 온도분포를 보이고 있다.

이와 같은 廢水의 溫度수준과 온도의 안정성은 높은 성적계수를 갖는 熱펌프의 구성이 가능하여 냉·난방열원으로 유효하게 이용할 수 있음을 보여주는 것이다. 즉, 우리나라의 기후특성상 일반화되지 못하고 있는 공기열원 熱펌프 시스템을 대체할 수 있는 안정된 성능의 熱펌프시스템 구성이 가능하다는 것을 의미한다.

3-2-2. 폐수의 발생량

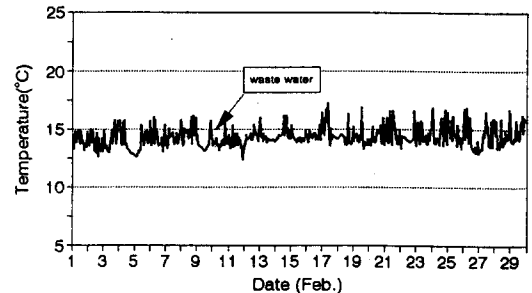


Fig. 2. Temperature profile of waste water drained in the selecting apartment complex (February 1-28, 1995).

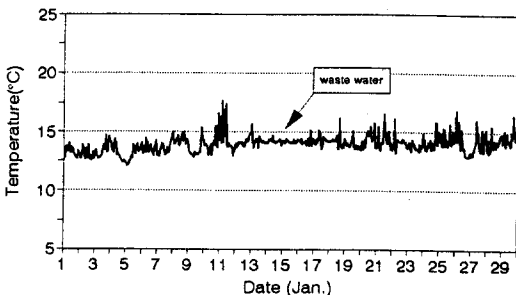


Fig. 1. Temperature profile of waste water drained in the selecting apartment complex (January 1-30, 1995).

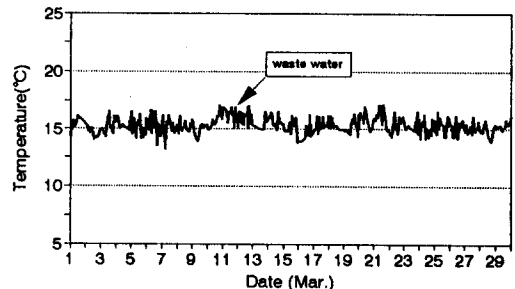


Fig. 3. Temperature profile of waste water drained in the selecting apartment complex (March 1-30, 1995).

熱펌프시스템을 설치하기 위해 선정된 아파트단지로부터 배출되는 廢水에 보유한 열량을 파악하기 위해서 온도에 대한 조사와 함께 배출량도 조사하였다. 폐수의 발생량은 변동이 심하고 배수구에서는 측정이 어렵기 때문에 단지를 관리하고 있는 관리사무소에 비치된 월별 급수자료를 이용하여 유추하는 방법을 사용하였다. Table 1은 난방기 동안에 대한 자료를 발췌하여 정리한 결과이다.

Table 1로부터 아파트단지에서 이 기간동안에 사용한 급수 및 급탕량은 총 56,867 ton이다. 그중에서 급수량의 70%와 급탕량 전부가 배수관으로 배출된다고 하였을 때 배수관을 통한 배수량은 총 44,330 ton 정도가 된다. 이것을 냉방기와 난방기로 구분하여 하루에 이용할 수 있는 폐수량으로 환산하면 난방기에는 평균 151 ton 이 된다.

한편, 조사대상으로 선정된 하수처리장의 일일처리용량은 60만 ton으로서 주로 강남일대에서 발생하는 하수를 처리하고 있다. '94년 현재 우리나라에서 보유하고 있는 하수처리장의 수는 43개소⁶⁾로서 약 720만 ton/일의 처리용량을 가지고 있다.

3.2-3. 폐수처리수의 수질

폐수열을 회수하기 위해 사용되는 폐수열교환기의 전

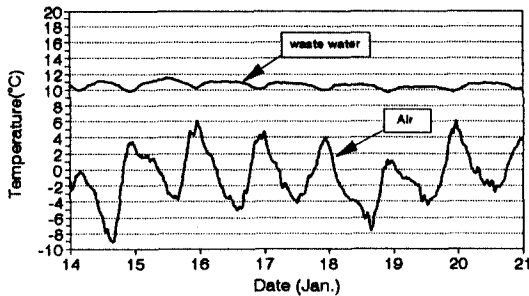


Fig. 4. Temperature profile of discharged water in the treatment plant (January 14-21, 1995).

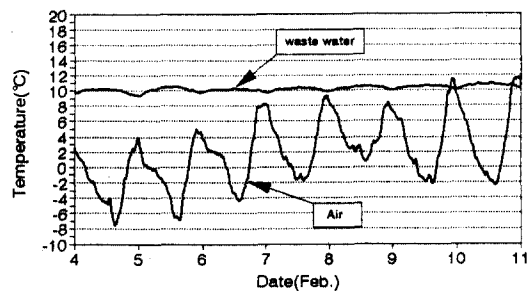


Fig. 5. Temperature profile of discharged water in the sewage treatment plant (February 4-11, 1995).

열관의 재질을 선정하기 위해서는 수질의 분석이 필수적이다. 즉, 수질분석을 통하여 내식성이 좋은 재질을 선택하여야 한다. 수질의 분석에 필요한 항목은 냉동기의 냉각수 수질관리기준에 제시된 것을 기준으로 하였으며, 그동안 5회에 걸쳐 측정된 결과를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 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 높은 것으로 알려져 있기 때문에 폐수열 열교환기용 전열관으로서는 채용한 것으로 판단된다.

4. 폐수열원 열펌프시스템

4-1. 열펌프시스템의 설계조건

냉난방 및 급탕에 熱펌프시스템을 효율적으로 이용하기 위해서는 냉방시에는 냉수온도를 5°C이하, 난방시에는 온수온도를 50°C이상으로 유지시키는 것이 바람직

Table 1. Amount of supplied water in selected apartment complex. (Unit: ton)

월 구분	'94.12	'95.1	2	3	합 계
급탕량	1,719	2,414	2,155	2,239	15,089
급수량	3,419	3,520	3,071	3,984	41,778
계	5,138	5,934	5,226	6,223	56,867

Table 2. Measuring data of solute substances in waste water.

시험항목	단 위	기준치	측정치
수소이온농도(pH)	-	6.5~8.0	7.08~7.13
전기전도도(Conductivity)	mS/cm	800	442~584
염소이온(Cl)	mg/L	200이하	58~69
황산이온 SO ₄ ²⁻	mg/L	200이하	28~33
M-알카리도(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 ²⁻)	mg/L	0.00	0.00
암모니아성질소(NH ₃ -N)	mg/L	1.0이하	18.30~22.50
이산화규소(SiO ₂)	mg/L	50이하	0.79~6.83

하지만 냉매 R-22를 사용하는 본 熱펌프시스템에서는 10°C의 물을 45°C의 온수로 만드는 것을 목표로 하여 설계하였다.

熱펌프를 구성하기 위한 냉동사이클의 설계기준 온도는 열원의 온도가 15°C 전후의 비교적 저온임을 고려하여 증발온도 5°C, 응축온도 50°C로 하고 열교환기를 설치하여 과열도 25°C, 과냉각도는 10°C가 되도록 하였다. 또한, 응축기의 응축수 입출구온도차는 7°C로 하고, 증발기 냉매의 증발온도와 냉각수의 출구온도 차를 5°C, 냉각수의 입출구 온도차는 5°C로 하였다. 이와 같은 기본 조건에서 熱펌프시스템의 주요구성요소인 압축기 소요동력, 증발기 및 응축기 등의 소요용량을 계산하였다.

Table 3에 본 시스템의 설계사양을, Fig. 6에 시스템 사이클의 p-h선도를 제시한다.

4.2. 주요기기의 용량

압축기 출구의 온도는 Table 3의 조건과 k=1.186을 적용하여 계산한다.

즉,

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 303.15 \times \left(\frac{19.82}{5.96}\right)^{\frac{0.186}{1.186}} = 366.02 \text{ K}$$

가 된다.

이상의 조건들을 이용하여 각 주요기기의 용량을 설계하면 다음과 같다.

4-2-1. 증발기

난방기에는 증발온도를 5°C, 응축온도를 50°C로 할때 국내의 K사에서 제작한 왕복식 압축기(model: CR-W 10GGI)의 냉각 용량은 30,500 kcal/h이며 소비전력은 7.5 KW이다. 과열도 25°C, 과냉각도를 10°C로 하고 압축기의 용량을 기준으로 냉매 순환량을 계산하면 다음과 같다.

$$G = (30,500 \text{ kcal/h}) / [(153.5 - 111.3) \text{ kcal/kg}] = 722.7 \text{ kg/h}$$

한편, 냉매의 증발온도는 5°C이고, 열원의 입구온도를 10°C로 하고 입출구의 온도차를 2°C로 하는 경우의 대수평균온도차(LMTD)를 구하면 다음과 같다.

$$\text{LMTD} = [(10 - 5) - (8 - 5)] / \ln[(10 - 5) / (8 - 5)] = 3.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

증발기내에서 열원수의 유속을 2.25 m/sec로 설정할

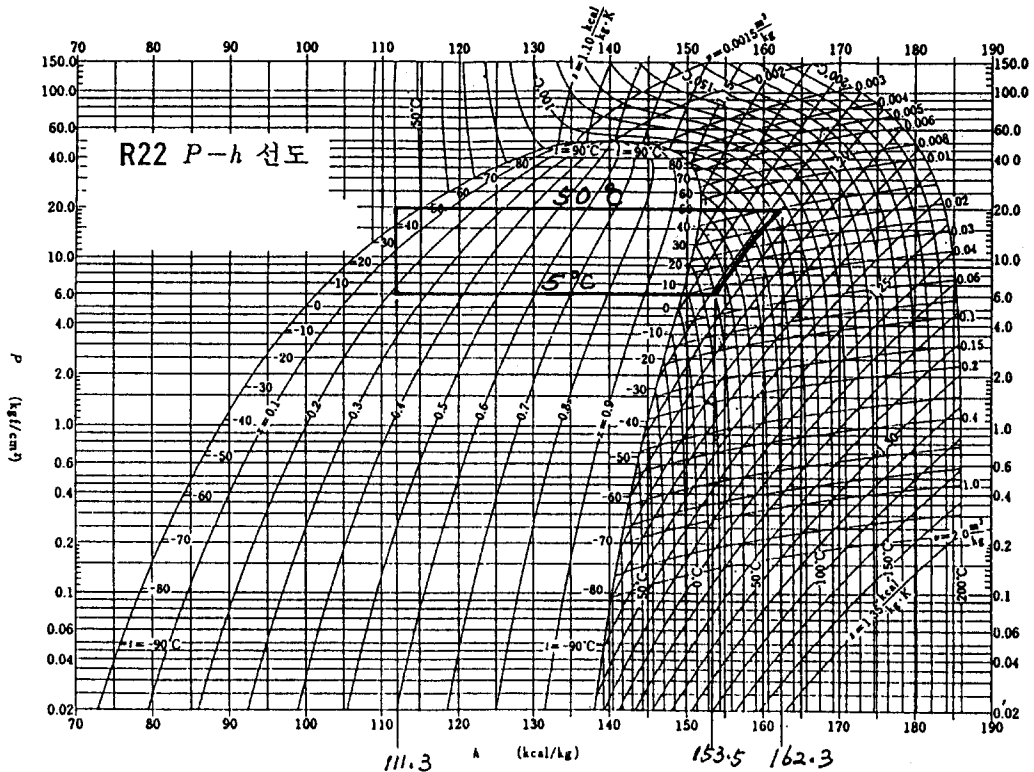


Fig. 6. Refrigeration cycle on a pressure-enthalpy diagram.

Table 3. Design specification of heat pump system.

번호	기기명	사양
1	작동유체	R-22
2	증발기	증발온도: 5°C(5.96 kg/cm ² , abs)
3	응축기	응축온도: 50°C 응축압력: (19.82 kg/cm ² , abs)
4	압축기	흡입온도 30°C
		토출온도 92.9°C
5	냉각수 입출구 온도차	5°C
6	폐수 열원온도	최저 12°C
		최고 25°C
7	과열도	25°C
8	과냉각도	10°C
9	가열능력	33,000 [Kcal/h]

경우 K사에 생산하여 전열관으로 사용하는 내경 15.6 mm인 THERMOEXCEL-E의 열전도율은 240 kcal/m·h·°C이다. 이를 기준으로 전열관 소요길이를 계산하면 다음과 같다.

$$L_e = (30,500 \text{ kcal/h}) / (240 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \times 3.9 \text{ °C}) = 32.6 \text{ m}$$

4-2-2. 응축기

응축기의 용량은 증발열량과 압축기 소비동력에 해당하는 열량을 합한 것이며, 熱泵 프사이클에서 응축기 용량 Q_c는

$$Q_c = G(h_4 - h_3) = (722.7 \text{ kg/h})(162.3 \text{ kcal/kg} - 111.3 \text{ kcal/kg}) = 36,800 \text{ kcal/h}$$

가 된다. 이는 난방용량조건 33,000 kcal/h의 약 111.5%로서 설계요구조건을 만족한다. 냉매응축온도와 온수출구온도와의 차를 5°C로 하고 온수의 입출구 온도차를 5°C라하면, 대수평균온도차는

$$LMTD_c = [(50 - 40) - (50 - 45)] / \ln[50 - 40] / (50 - 45) = 7.21 \text{ °C}$$

응축기의 유속을 2.0 m/s로 설정하면 K사에서 제작된 직경 15.6 mm인 전열관(THERMOEXCEL-C)의 열전도

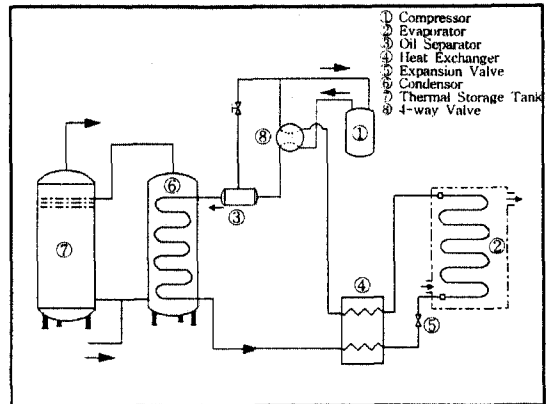


Fig. 7. Schematic diagram of the experimental apparatus.

율은 250 kcal/m·h·°C이다. 단위패스당 필요한 전열관 수량(N_c)는

$$N_c = (36,800 \text{ kcal/h}) / [\pi \times (0.0156 \text{ m})^2 \times (3,600 \text{ s/h}) \times (5,000 \text{ kcal/m}^3) \times (2 \text{ m/s}) / 4] = 6 \text{ EA}$$

따라서, 전열관의 길이(L_c)는

$$L_c = (36,800 \text{ kcal/h}) / [250 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \times 7.21 \text{ °C} \times 6 \text{ EA}] = 3.4 \text{ m/EA}$$

이다. 패스수를 히트펌프의 크기를 고려 적절히 분리하여 2패스로 하면 수경 전열관의 단위길이는 1.7 m가 된다.

4-2-3. 팽창밸브의 선정

냉각용량=30,500 kcal/h(=35 kW)

응축압력=20 kg/cm² abs.

증발압력=5.077 kg/cm² abs.

냉 매=R-22

상기조건을 기준으로 하여 미국의 DANFOSS Co.에서 제작한 모델 PMFL 80-1을 선정하였다.

4.3. 열펌프시스템의 구성 및 실험방법

폐수열의 이용 가능성을 분석하기 위해 제작한 熱泵 프시스템의 구성도는 Fig. 7과 같다. 압축기 ①은 국내의 K사에서 제작한 정격출력 7.5 kW의 완전 밀폐형 왕복동식을 사용하였고, 廢水熱 熱交換器인 증발기 ②는 맨액식으로 하고 전열관은 나선형 코일(coil)로 하여 廢水槽에 완전히 침적되도록 설치하여 전열관의 내부에는 작동유체를 통과시키고 외부에는 폐수가 직접 접하도록 하였다. 전열관은 열원인 폐수에 함유된 다량의 오염물질로 인한 오염의 영향을 줄이고 내부식성을 향상시키기 위해 외부표면에 두께 0.05 mm로 크롬(Cr)도금을 하

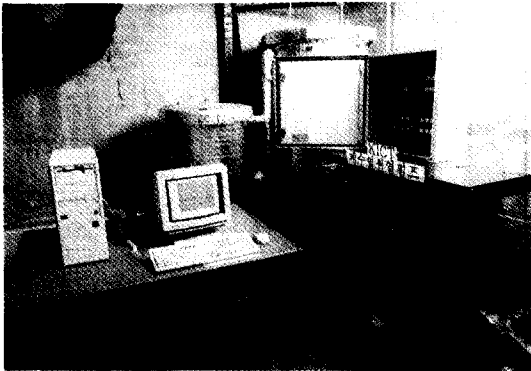


Fig. 8. Photo of the test apparatus.

였다. 증발기를 거쳐 나온 작동액의 증기만이 압축기로 흡입되도록 기액분리기를 설치하고, 압축기 출구에는 유분리기(Oil separator) ③을 설치하여 전열성능의 저하를 방지하도록 하였다. 또한, 열원이 저온임을 고려하여 熱펌프시스템의 성능을 향상시킬 수 있도록 다수의 細管으로 구성된 2重管式 熱交換器 ④를 채용하였고, 팽창밸브 ⑤는 미국의 DANFOSS Co.에서 제작한 감열식의 PMFL 80-1을 사용하였다.

응축기 ⑥은 Shell & Tube형으로 하고, 전열관의 내면에는 Static Mixing Element를 삽입하여 난류유동을 형성하도록 하였다.

응축기로부터 응축열을 회수 저장하기 위해 용량 0.8 m³인 축열조 ⑦을 설치하고, 아파트로부터 배출되는 폐수를 집수할 수 있도록 지표면으로부터 4 m 깊이에 폐수저장조를 설치하였으며, 폐수저장조 내에는 폐열을 회수하기 위한 증발기가 설치되어 있다.

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

한편, 熱펌프의 성능을 파악하기 위해 압축기 입출구, 증발기 입출구, 팽창밸브의 입출구, 응축기 입출구 및 축열조 내부의 온도를 측정하였으며, 과부하 보호장치를 시스템에 설치하여 시스템을 보호하도록 하였다.

온도는 미국의 OMEGA Engineering Inc.에서 제작한 직경 약 0.12 mm(AWG: 36)인 T-type의 열전대를 사용하였으며, 압력은 미국의 Setra System Inc.에서 제작한 Pressure Transducer를 사용하였고, 응축수(냉각수)의 유량은 미국의 OMEGA Engineering Inc.에서 제작한 Turbine Flowmeter(FLSC-28)를 사용하였다. 이들 센서(Sensor)로

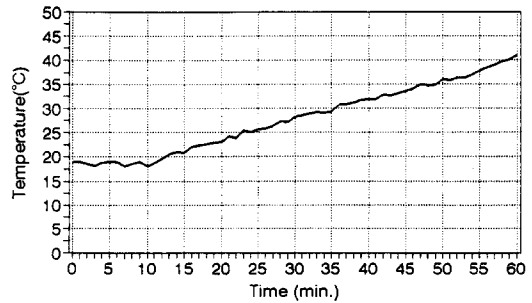


Fig. 9. Temperature profile of thermal storage tank used to calculate COP of the heat pump system.

부터 나오는 실험자료는 영국의 Measurement System Ltd.에서 제작한 Datascan 7000과 A/D, D/A Converter를 기본으로 한 Data Acquisition System을 사용하였다.

한편, 실험장치의 운전에 소비된 전력량은 이탈리아의 Elcontrol Ltd.에서 제작한 Energy Analyzer로 측정하였다.

이와 같은 구조를 갖는 실험장치를 이용하여 熱펌프의 성능은 열원인 폐수의 유동이 자연스럽게 유지되도록 한 상태에서 시스템을 작동시켜 축열조에 저장되는 열량을 계산하여 성적계수를 산정하는 방법을 사용하였다. Fig. 8은 제작이 완성된 실험장치의 모습이다.

4.3. 실험결과 및 분석

Fig. 9는 축열조내의 초기온도가 18°C인 상태에서 실험장치를 운전하였을 때 축열조내의 온도변화를 나타낸 것이다.

실험을 하는 동안의 폐수의 유입온도는 14°C~18°C를 유지하였으며, 이때의 유량은 약 80[l/min]을 유지하도록 하였다.

초기온도 18°C인 축열조의 온도를 40.2°C까지 상승시키는데 걸린 시간은 50분이 소요되었으며, 이때 소비된 전력량은 6.25 kWh이었다. 이러한 결과로부터 성적계수를 계산하면 약 3.3 정도가 된다. 熱펌프에서 소비되는 전기를 생산하는 발전소의 발전효율을 40%라 할때 熱펌프가 보일러에 비해 경제성을 갖기 위해서는 熱펌프의 성적계수(COP)는 COP > 2.5이 되어야 한다.

따라서, 이러한 실험결과로 비추어 볼 때 본 연구를 통해 적용한 폐수열원 熱펌프시스템은 충분한 경제성을 확보할 수 있는 것으로 분석되어 앞으로 유효이용의 가능성이 매우 높은 것으로 평가된다.

5. 결 론

生活廢水熱을 熱源으로 하는 熱펌프시스템의 利用效

를 제시함으로써 각종 都市 未活用에너지의 중요성을 인식시키고 에너지절약을 극대화하여 세계적인 에너지 환경의 변화에 대응할 수 있는 효과적인 방안을 모색하기 위해 수행된 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 침적식 폐수열교환기를 채용한 폐수열원 熱펌프시스템의 난방시 운전자료를 분석한 결과에 의하면 성능계수를 3~3.5 정도로 유지할 수 있는 것으로 평가되고 있다. 이것은 경유를 연료로 사용하여 발전하는 화력발전소의 발전효율이 40% 내외인 점을 고려할 때 충분히 경제성이 있는 시스템의 제작이 가능하다.

2) 시스템의 설계에 필요한 廢水熱源의 特性을 파악하기 위해 선정된 아파트단지에서 배출되는 廢水熱의 배출온도는 난방기 13°C~18°C의 온도분포를 갖고 있으며, 또한 하수처리수의 배출온도는 8.5°C~11°C의 비교적 안정된 수준을 유지하고 있는 것으로 조사되어 이를 열원으로 하는 熱펌프시스템 설계시 기준온도로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

3) 하수처리장에서 배출되는 하수처리수에는 암모니아성 질소의 농도가 매우 높기 때문에 일반열교환기에 널리 이용되는 동관의 채용은 부적합한 것으로 판단된다. 따라서, 폐수열교환기에 동관을 사용할 경우에는 특

별한 고려가 있어야 된다.

참고문헌

1. 未利用 エネルギー活用 マニュアル, オム社, (1992).
2. 山口 幸勇, 히트펌프による 低溫廢熱의 利用方式, 建築設備と 配管工事, (75. 10).
3. 川岸 隆之, 에너지-利用의 效率化에 向けて, 空氣調和衛生工學, Vol. 66, No. 6, (1992).
4. 稻昌 昭彦, 生活排水熱利用 히트펌프給湯システム, 省エネルギー, Vol. 44, No. 1, pp. 36~39, (1992).
5. Varde, K. S., "Extraction of Sensible Heat from Waste Water for Domestic Heating Applications," Alternative Energy Sources, Vol. 9, pp. 4323~4332, (1989).
6. 중수도시스템, 設備工事, 대한설비공사협회, (1993. 3).
7. R. H. Howell, "Heat Recovery in Buildings Using Water-Loop Heat Pump Systems", ASHRAE Transactions, IN-91-8-3, (1991).
8. ASHRAE Handbook, Fundamentals, (1985).