

## 하수열원을 이용한 지역난방 적용성 검토

김 상 훈<sup>†</sup>, 김 동 진, 최 동 규

엘아이지 엔설팅 에너지사업팀

### A Study on the Application of District Heating System using Sewage Source

Sang-Hun Kim<sup>†</sup>, Dong-Jin Kim, Dong-Kyoo Choi

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to examine the energy consumption, carbon dioxide emission & energy cost of district heating using sewage source. The annual TOE of heat pump using sewage source save 37.1 percent than city gas boiler. And annual carbon dioxide emission of heat pump cut down 41.3 percent than city gas boiler. If it charges the rate schedule for district heating to apartment resident, collected amount are 3,127,170 thousand won. As energy cost of heat pump & circulation pump are 1,378,072 thousand won. the profits are 1,749,098 thousand won. As payback period is 8.97years, applicability is low level. However, it has advantages in energy consumption, carbon dioxide emission & energy cost. Therefore, it needs to proceed through government assistance.

**Key words:** Sewage Ssource(하수열원), Heat Pump(히트펌프), District Heating(지역난방), TOE(Ton of oil equivalent), CO<sub>2</sub> Emission(이산화탄소 배출량),

#### 1. 서 론

에너지는 현대사회를 편리하게 영위할 수 있도록 조성해주는 원동력이나, 현재 주로 사용하고 있는 화석에너지의 매장량이 한정적이기 때문에 유한성이라는 문제점을 내재하고 있다.

특히, 한국은 석유 40년, 석탄 220년, 천연가스 64년의 고갈성 에너지를 산업발전의 기반으로 하고 있으며, 소득에 비하여 에너지 다소비형 산업 구조로 구성되어 있어 선진국보다 높은 수준의 에너지소비원단위를 보이고 있다. 또한, 막대한 양의 에너지를 사용하고 있으나, 수입의존도가 약97%로 오일쇼크와 같은 에너지 대란이 발생할 경우 스스로 통제할 수 있는 능력이 전혀 없기

때문에 에너지문제는 심각하게 다루어져야 한다.

그리고, 인구의 폭발적 증가와 과학기술의 발달로 대량생산·대량소비의 산업사회가 정착되면서 오존층 파괴, 기상 이변, 생물종의 감소 등 지구 환경위기 발생으로 인류는 생존위기라는 거대한 도전에 직면하게 되어 환경과 조화된 에너지 계획수립의 중요성이 높아지고 있다. 이러한 중요성을 인식하여 우리나라는 기후의 안정성을 확보를 목적으로 하는 기후변화협약에 1993년 12월 가입하였다.

즉, 화석에너지의 소비와 이산화탄소 배출량을 절감시킴과 동시에 지속가능성을 가지고 있는 새로운 에너지원에 대한 검토가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 소비된 후 하수로 방출되는 미활용에너지인 하수열원을 이용하는 지역난방시스템에 대한 에너지소비량, 이산화탄소 배출량 및 에너지 비용을 산출하여 적용성을 검토하는 것에 목적을 두었다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-6900-4829; fax: +82-2-6900-4896

E-mail address: ksh0226@ligensulting.com

## 2. 하수열원 특성 및 적용시스템 개요

### 2.1 하수열원 특성

하수열원은 대기온도보다 겨울철에 따뜻하고 여름철에 차가운 특성을 가지기 때문에 공기열원보다 냉매와의 온도차가 크므로 약 10~30%정도 효율이 상승되어 열교환 효율이 높고, 사용처에서 방출되는 하수량은 연간 비교적 일정하고 취급이 쉬운 안정적인 열원이다. 또한, 미활용되는 하수를 열원으로 이용하기 때문에 환경개선효과를 기대할 수 있는 특성이 있다.

### 2.2 적용시스템 개요

하수열원을 이용한 지역난방시스템은 하수처리장의 최종침전지에서 처리된 상등수를 하수 열교환기에 열교환 후, 히트펌프에 공급된다. 하수 열교환기는 Slime 및 Sclae이 히트펌프에 부착하는 것을 방지하기 위하여 설치되며 필요에 따라 진열관 세척장치를 적용한다.

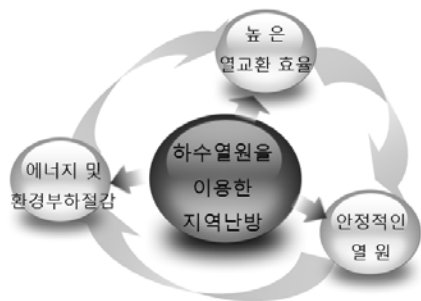


Fig 1 하수열원 이용의 특징점

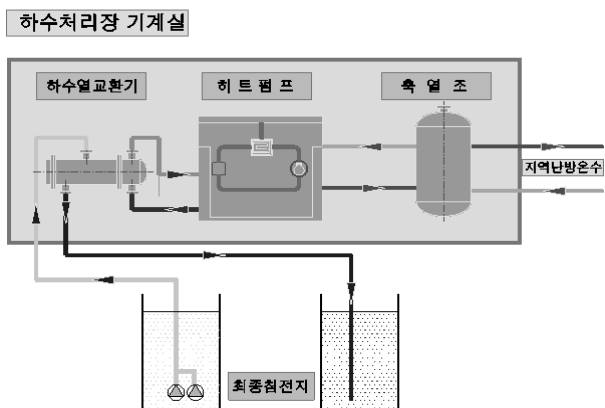


Fig 2 하수처리장 내 시스템 계통도

히트펌프에서는 하수를 열원으로 이용하여 응축기에서 온수를 생산하여 축열조에 저장 후, 난방 및 급탕 수요처에 공급하는 시스템이다. 하수처리장 내 시스템 계통을 Fig 2에 나타내었다.

## 3. 공동주택 개요 및 에너지사용 원단위

### 3.1 대상 공동주택 개요 및 조건

하수열원을 이용한 지역난방 온수를 공급받는 대상은 하수처리장 인근에 있는 공동주택을 선정하였다. 공동주택의 분양면적 및 세대수는 Table 1에 나타낸 바같이 59㎡ 267세대, 73㎡ 14세대, 79㎡ 338세대, 83㎡ 492세대, 89㎡ 179세대, 102㎡ 376세대, 106㎡ 576세대, 109㎡ 300세대, 122㎡ 210세대, 135㎡ 471세대, 152㎡ 166세대로 구성되어 있으며, 난방면적은 분양면적의 75%로 가정하였다.

Fig 3은 지역난방 열사용 시설기준의 공동주택 단위난방부하 기준에 의한 세대수 비율로 난방면적 60㎡초과의 세대가 82%를 차지하고 있다.

에너지사용 원단위기준에 의한 세대수 비율은 Fig 4에 나타낸 바와 같이 분양면적 99㎡미만, 99~132㎡미만, 132㎡이상이 각각 38%, 43%, 19% 구성되어 있다.

Table 1 대상 공동주택 분양 및 난방면적별 세대수

분양면적(㎡)	59	73	79	83	89	102
난방면적(㎡)	44.3	54.8	59.3	62.3	66.8	76.5
세대수	267	14	338	492	179	376
분양면적(㎡)	106	109	122	135	152	-
난방면적(㎡)	79.5	81.8	91.5	101.3	114.0	-
세대수	576	300	210	471	166	3,389

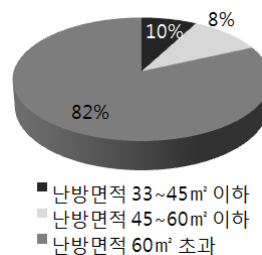


Fig 3 열사용시설기준에 의한 세대수 비율

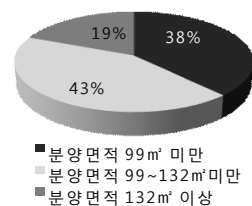


Fig 4 에너지 사용 원단위 기준에 의한 세대수 비율

### 3.2 에너지사용 원단위 산출

공동주택의 급탕 및 난방에너지 사용량 산출을 위하여 2005~2006년 일산지역 20평형대 공동주택 2개소, 30평형대 공동주택 3개소, 40평형대 공동주택 2개소를 대상으로 측정한 에너지 사용 데이터를 이용하였다.

Table 2는 측정된 월별 단위면적당 평균 급탕 및 난방부하로 20평형대는 99㎡미만으로, 30평형대는 99~132㎡미만으로, 40평형대는 132㎡이상으로 분류하였다.

월별 단위면적당 평균 급탕 및 난방부하를 기준으로 월별 에너지사용 원단위를 산출하여 Fig 5~Fig 7에 나타냈다.

급탕사용량은 연중 큰 변동이 없고, 난방사용량은 춘추절기에는 감소하며, 하절기에는 급격히 감소하는 경향을 보인다.

연간 단위면적당 에너지사용 원단위는 분양면적 기준 99㎡미만의 경우 급탕 47,904 kcal/㎡, 난방 112,846 kcal/㎡, 합계 160,750 kcal/㎡였고, 99㎡이상~132㎡미만의 경우 급탕 49,840 kcal/㎡, 난방 103,980 kcal/㎡, 합계 153,820 kcal/㎡였으며, 132㎡이상의 경우 급탕 33,704 kcal/㎡, 난방 89,520 kcal/㎡, 합계 123,225 kcal/㎡ 로 나타났다.

## 4. 열원용량 및 에너지소비량 산출

### 4.1 열원용량 및 투자비 산출

열원설비 용량을 산출하기 위한 난방부하는 Table 3에 나타낸 지역난방 열사용 시설기준의 공동주택 단위난방부하 기준에 난방면적의 합계를

Table 2 월별 단위면적당 평균 급탕 및 난방부하 [unit : kcal/h · m<sup>2</sup>]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
99㎡ 미만	36.36	37.55	27.56	18.54	6.68	5.73
99㎡ 이상~132㎡ 미만	34.52	34.21	25.32	17.86	7.22	6.03
132㎡ 이상	28.58	28.65	20.16	13.58	5.21	4.07

구 분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
99㎡ 미만	3.05	2.39	3.65	15.59	23.05	41.19
99㎡ 이상~132㎡ 미만	3.98	3.41	4.74	14.98	21.02	38.37
132㎡ 이상	3.26	2.14	2.87	10.80	16.45	33.82

공하여 난방부하를 산출하였으며, 급탕부하는 저탕가열량을 기준하였다.

난방부하는 12,839 Mcal/h이고, 급탕부하는 5,423 Mcal/h 였으며, 전체부하는 18,262 Mcal/h로 산출되었다.

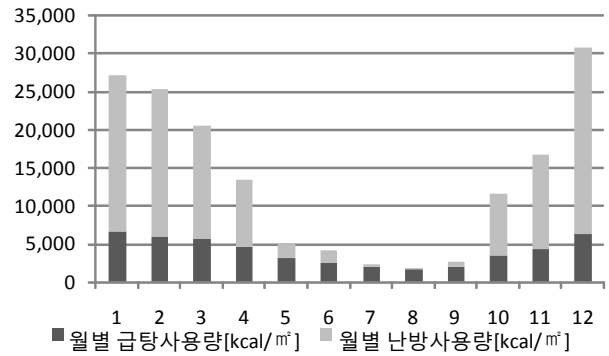


Fig 5 분양면적 99㎡ 미만 에너지사용 원단위

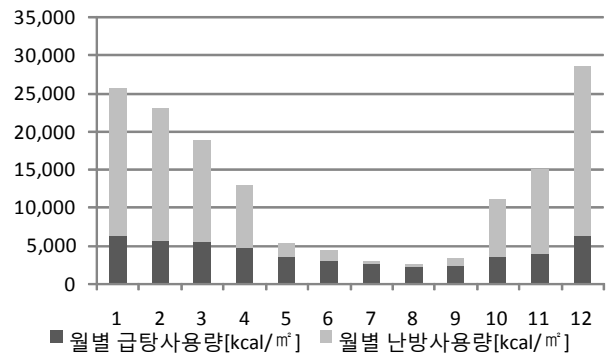


Fig 6 분양면적 99㎡ 이상~132㎡ 미만 에너지사용 원단위

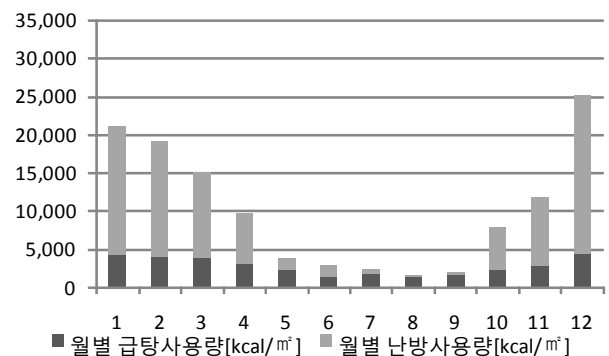


Fig 7 분양면적 132㎡ 이상 에너지사용 원단위

Table 3 공동주택의 단위난방부하 기준

난방면적[m <sup>2</sup> ]	33~45이하	45~60이하	60초과
단위난방부하 [kcal/㎡·h]	52.4	51.4	49.0

전체부하에 열수요처가 공동주택 100%일 때 적용되는 동시사용율 86%를 적용하여 하수처리장 기계실에 설치되는 열원용량은 15,705 Mcal/h로 결정하였다.

열원설비 용량산출표를 Table 4에 정리하였다.

하수처리장에 설치되는 기계실에 투자되는 열생산설비 투자비는 하수 열교환기, 하수열원 히트펌프, 축열조, 순환펌프, 기계실 공사비를 반영하였고, 열공급설비 투자비 항목은 지중 매설배관의 공사비를 반영하여 전체 15,682,000천원의 초기투자비가 산출되었다.

#### 4.2 에너지소비량

분양면적별로 산출된 월별 에너지사용 원단위에 해당 난방면적의 합계를 곱한 월별 급탕 및 난방에너지 사용량을 Fig 8에 나타냈다. 이를 합산한 연간 에너지 사용량은 Table 6과 같이 급탕 11,747 Gcal, 난방 26,759 Gcal로 합계 38,506 Gcal로 산출되었다.

연간 히트펌프 전기 소비량은 하수온도가 하절기에 25℃, 동절기에 12℃임을 고려하여 히트펌프의 증발기에 공급되는 하수온도가 낮아 효율이 저하되는 동절기의 COP인 3.38을 적용하였고, 보일러 효율은 85%를 기준하였다.

Table 4 열원설비 용량산출

구분	단위 난방부하 [kcal/hm <sup>2</sup> ]	난방면적 합계 [m <sup>2</sup> ]	난방부하 [Mcal/h]	급탕부하 [Mcal/h]
난방면적 33~45m <sup>2</sup> 이하	52.4	11,828	620	427
난방면적 45~60m <sup>2</sup> 이하	51.4	20,811	1,069	563
난방면적 60m <sup>2</sup> 초과	49.0	227,557	11,150	4,433
소계	-	260,196	12,839	5,423

난방 및 급탕부하[Mcal/h]	동시사용율 [%]	적용 열원용량 [Mcal/h]
18,262	86	15,705

Table 5 열원설비 초기투자비

하수처리장	금액
열원용량 (Mcal/h)	15,705
열생산설비 (백만원)	12,432
열공급설비 (백만원)	3,250
합계 (백만원)	15,682

히트펌프 전기사용량과 보일러 도시가스 사용량은 각각 13,250 Mwh, 4,292,000 Nm<sup>3</sup>로 산출되었다.

#### 4.3 석유환산톤 및 이산화탄소 배출량

히트펌프와 보일러의 에너지소비량을 비교하기 위하여 동일한 단위인 석유환산톤(TOE)으로 환산하였으며 월별 사용 석유환산톤 패턴을 Fig 9에 나타냈다. 연간 사용 석유환산톤은 Table 7에 나타낸 바와 같이 히트펌프 2,849 TOE, 보일러 4,530 TOE로 산출되어 히트펌프 적용시 1,681 TOE가 절감되어 37.1%의 에너지 절감을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

히트펌프와 보일러의 에너지소비에 따른 환경부하는 분석하기 위하여, 지구온난화 현상의 주된 원인이 되는 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 월별 이산화탄소 배출패턴은 Fig 10과 같이 12월에 가장 많이 배출되는 것으로 나타났으며, 연간 이산화탄소 배출량은 히트펌프 5,620 TCO<sub>2</sub>, 보일러 9,578 TCO<sub>2</sub>로 산출되어 히트펌프 적용시 41.3%의 이산화탄소 배출 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

#### 4.4 에너지 비용

하수열원을 이용한 지역난방의 적용성 검토를 위하여 수익에 의한 투자비 회수기간을 분석하였다.

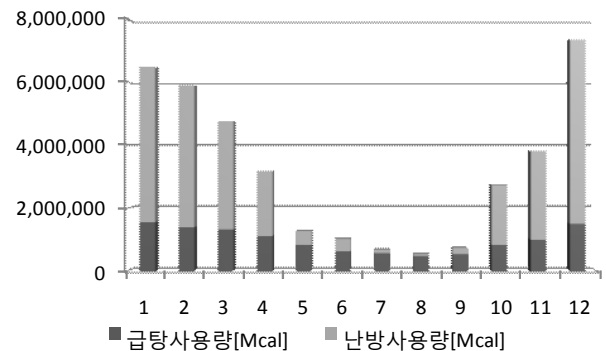


Fig 8 월별 급탕 및 난방에너지 사용량

Table 6 연간 에너지소비량

구분	급탕 [Gcal]	난방 [Gcal]	급탕 및 난방 [Mcal]	히트펌프 전기 [Mwh]	보일러 도시가스 [천Nm <sup>3</sup> ]
사용량	11,747	26,759	38,506	13,250	4,292

전기요금은 한국전력공사 산업용(병)-고압A-선택2의 08년 11월 13일 기준 단가를 적용하였고, 지역난방요금은 한국지역난방공사 주택용 온수요금의 08년 11월 1일 기준 단가를 적용하였다. 에너지비용 분석에 사용한 단가를 Table 8에 나타냈다.

히트펌프를 이용한 열생산 및 수송단가는 히트펌프의 전기요금과 온수 수송을 위한 순환펌프의 반송동력비를 합산한 후, 급탕 및 난방에너지 사용량으로 나누어 산출하였다.

Fig 11은 월별 히트펌프 열생산 및 수송단가로 하절기에는 전기 사용요금 단가가 비싸고, 전기 사용량이 적더라도 고정적으로 부과되는 기본요금이 있기 때문에 단가가 높은 것으로 나타났다.

에너지사용량을 고려한 연간 생산 및 수송단가는 35.8원으로 산출되었다.

전기요금 단가와 월별 히트펌프 및 순환펌프의 전기사용량을 적용하여 히트펌프 시스템 에너지비용을 산출하였고, 에너지 사용자에게 지역난방 요금체계를 적용했을 때의 에너지 비용을 각각 산출하였다.

Fig 12는 히트펌프와 지역난방의 월별 에너지비용으로 하절기에는 고정적인 전기 기본요금 때문에 에너지 비용의 차이가 적었으나, 에너지 사용량이 많은

동절기에는 기기효율을 고려한 단위 에너지 생산량당 비용이 저렴한 히트펌프의 에너지 비용이 저렴하여 차이가 큰 것으로 분석되었다.

Table 9는 연간 에너지 비용으로 히트펌프 시스템 1,378,072천원, 지역난방 3,127,170천원으로 산출되어 연간 1,749,098천원이 절감되는 것으로 나타났다.

Table 7 연간 사용 석유환산톤 및 CO<sub>2</sub> 배출량

구분	히트펌프 [TOE]	보일러 [TOE]	절감량 [TOE]	절감율 [%]
석유환산톤	2,849	4,530	1,681	37.1
구분	히트펌프 [TCO <sub>2</sub> ]	보일러 [TCO <sub>2</sub> ]	절감량 [TCO <sub>2</sub> ]	절감율 [%]
CO <sub>2</sub> 배출량	5,620	9,578	3,958	41.3

Table 8 에너지비용 산출기준

구분	기본요금	사용요금
지역난방	49.02원/m <sup>2</sup>	춘절기:62.09원/Mcal, 하절기:55.88원/Mcal, 동절기:65.19원/Mcal
전기	6,180원/kWh	여름철(7~8월):72.8원/kWh, 봄가을철(3~6,9~10월):52.5원/kWh, 겨울철(11~2월):62.6원/kWh

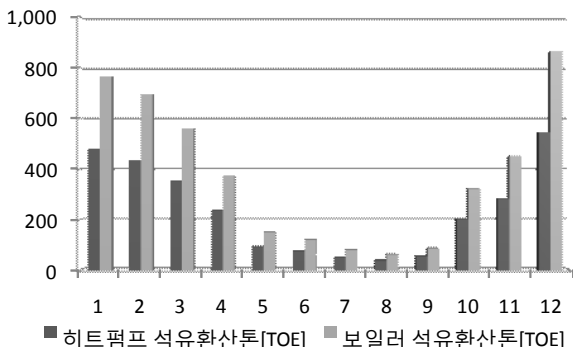


Fig 9 월별 사용 석유환산톤

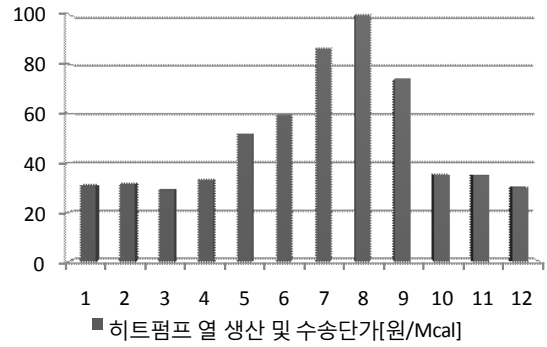


Fig 11 월별 열생산 및 수송단가

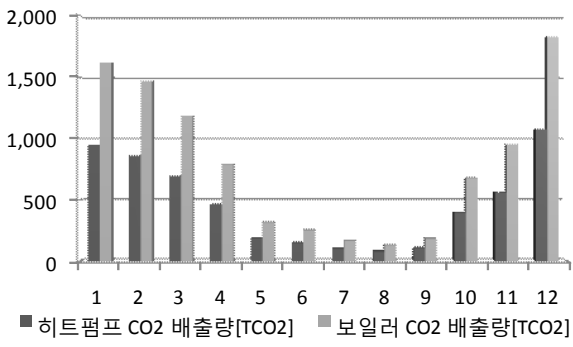


Fig 10 월별 이산화탄소 배출량

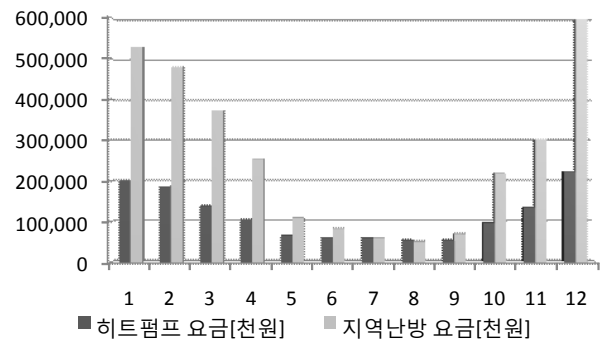


Fig 12 월별 에너지비용

#### 4.5 적용성 검토

대상 공동주택에 하수열원을 이용한 지역난방을 공급하기 위한 초기투자비는 15,682,000천원이 산출되었다. 열 사용자에게 지역난방 요금체계를 기준으로 에너지 요금을 부과했을 때, 징수되는 3,127,170천원에서 히트펌프 및 순환펌프를 운전하기 위한 비용인 1,378,072천원을 차감하면 연간 1,749,098천원의 수익금이 발생한다. 이 수익금으로 히트펌프 초기투자비를 회수하기 위한 단순회수기간은 8.97년이 산출된다. 히트펌프의 운전에 필요한 인건비 및 유지관리비를 고려하면 회수기간이 더욱 길어진다.

Table 9 연간 에너지비용

구분	히트펌프 [천원]	지역난방 [천원]	절감액 [천원]
에너지 비용	1,378,072	3,127,170	1,749,098

Table 10 하수열원 지역난방의 단순 회수기간

히트펌프 초기투자비 [천원]	지역난방 기준 징수액 [천원]	히트펌프 에너지비 [천원]	징수액- 운전비 [천원]	단순회 수기간 [년]
15,682,000	3,127,170	1,378,072	1,749,098	8.97

#### 5. 결론

본 연구에서는 소비된 후 하수로 방출되는 미활용에너지인 하수열원을 이용하는 지역난방시스템에 대한 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 검토를 실시하였고, 에너지 비용 절감에 따른 적용성을 검토하였다.

석유환산톤은 히트펌프 2,849 TOE/year, 보일러 4,530 TOE/year로 산출되어 37.1%의 에너지 절감을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

이산화탄소 배출량은 히트펌프 5,620 TCO<sub>2</sub>/

year, 보일러 9,578 TCO<sub>2</sub>/year로 산출되어 히트펌프 적용시 41.3%의 이산화탄소 배출량 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

연간 에너지비용은 히트펌프 시스템과 지역난방이 각각 1,378,072천원, 3,127,170천원으로 산출되어 1,749,098천원이 절감되는 것으로 나타났다.

하수열원을 이용한 지역난방을 공급하기 위해서는 15,682,000천원의 초기투자비가 필요한 것으로 산출되었다. 투자비를 열 사용자에게 지역난방 요금체계를 기준으로 사용요금을 부과했을 때 징수되는 3,127,170천원에서 히트펌프 및 순환펌프를 운전하기 위한 에너지 비용인 1,378,072천원을 차감한 1,749,098천원의 수익금으로 회수할 경우의 단순 회수기간은 8.97년으로 나타나 적용성이 낮은 것으로 분석되었다. 또한, 히트펌프의 운전에 필요한 인건비 및 유지관리비를 고려하면 회수기간이 더욱 길어져 적용성은 더욱 낮아지지만, 미활용에너지를 이용할 수 있고, 석유환산톤 및 이산화탄소 배출량이 적다는 장점과 하수처리장 인근 공동주택에 대한 복지향상 등을 고려할 때 정책적인 지원을 통한 시행이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 이영수, 2008, 집단에너지 열원으로서의 하수열이용 타당성 검토, 대한설비공학회 2008 하계학술발표대회 논문집, pp. 690-695.
2. 산업자원부, 2007, 미활용에너지 자원조사, 한국에너지기술연구원 보고서.
3. 박창규, 2007, 하수처리수 열의 지역난방 연계방안, 한국설비기술협회 특집, pp. 86-94.
4. 박준택, 공공하수도시설에서의 미활용·재생에너지 이용방안, 한국설비기술협회 일반원고, pp. 108-112.