

100RT급 하수열원 냉난방시스템 적용

장기창, 윤형기, 박성룡, 백영진, 나호상, 신광호

한국에너지기술연구원 미활용지열연구센터

Application for Heating and Cooling System Using Sewage Water

Ki-Chang Chang, Hyung-Kee Yoon, Seong-Ryong Park, Young-Jin Baik, Ho-Sang Ra,
Kwang-Ho Shin

Unutilized & Geothermal Energy Research Center, KIER, Daejeon 305-343, Korea

ABSTRACT: Along with socioeconomic development and improving standard of living, the heat demand for heating and cooling in residential and commercial sectors is expected to expand rapidly, reaching over 43 million TOE by 2010 in Korea (about 80% increase compared with that in 1995). Since most of this heat demand is low temperature below 60°C, the utilization of "unused energy" is surely one of very effective measures to both environmental preservation and energy conservation. "Unused energy" in this paper is implicated as "temperature differential energy" available from treated sewage water, useful and abundant heat source for heat pump (cooler in summer and warmer in winter than outside air). An analysis was carried out to estimate the energy potential of treated sewage water for heat pump heat source. Some analysis were taken to study the characteristics of a heat pump system using the treated sewage water as heat source.

Key words: Treated sewage water(하수처리수), Heat pump(열펌프), Unused energy(미활용에너지), Heating and cooling(냉난방)

1. 서론

인류의 생활향상으로 화석연료의 소비확대는 대기오염물질(CO₂, NO_x, SO_x)의 배출을 증대시켜 지구온난화나 산성비에 의한 산림파괴 등 지구규모의 환경파괴를 일으키고 있다. 현재 세계 인구의 1/4을 차지하는데 지나지 않는 선진국이 세계 에너지소비량의 3/4을 소비하고 있으며, 금후 에너지소비의 비약적인 증대가 예상되는 발전

도상국의 존재를 생각할 때 무엇인가의 대책을 강구한다는 것은 선진국으로서의 책무이다. 이를 위해 에너지절약의 추진, 에너지이용의 효율화, 청정에너지의 이용촉진이 필요조건으로 되고 있다.

세계 에너지 정책기조의 새로운 변화에 따라 기존의 경제적인 측면뿐만 아니라 환경적인 측면의 중요성이 날로 증가하므로써 새로운 에너지의 개발보다는 기존의 미활용에너지를 이용하는 기술이 일본, 유럽 등 여러 선진국에서 연구되고 있다. 특히 미활용에너지중 하수 등의 배열을 회수하여 에너지로 이용하는 기술은 하수배열의 고온화로 인한 생태계의 보호와 아울러 하수처리를 통해 경제적, 환경적인 면에서 커다란 효과를 기대할 수 있기 때문에 지속적인 관심의 대상이 되

†Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3163; fax: +82-42-860-3133

E-mail address: kcchang@kier.re.kr

고 있다.

따라서 도시의 생활과정에서 배출되는 하수에 보유되어 있는 하수열은 저온, 저밀도의 특성을 갖고 있어 이를 효과적으로 이용할 수 있는 관련 기술이 부족하였기 때문에 활용할 수 없는 무용 에너지로 취급되어 왔다. 그러나 생활수준이 향상됨에 따라 에너지소비량이 증가하여 하수열의 에너지밀도가 높아지고 이로 인해 직간접적으로 환경에 미치는 영향이 중대하다는 사실이 알려지면서 이들의 유효이용에 대한 중요성이 재인식하게 되었다. 하수열은 미활용에너지 중에서도 ①겨울은 따뜻하고 여름은 차갑고, ②사계절을 통하여 안정된 열원이며, ③부존량이 다량이며, ④수요지와 근접하고 있다는 등 그 활용에 있어서 유리한 조건을 가지고 있다. 따라서 하수열을 유효하게 활용하여 에너지절약을 도모하도록 하는 기운이 높아지고 있다.

현재 하수 등의 배열을 이용한 냉난방시스템은 일본, 미국, 독일, 북유럽 등지에서 활발히 개발, 보급되고 있으나 대부분 단위주택 등 구역 건물에 이용되는 소규모로 대규모 지역난방 계통에 이용되는 사례는 일본과 스웨덴이 대부분을 차지하고 있다. 일본의 경우는 하수처리장 인근의 대형건물에 냉난방을 공급하는 집단에너지 열공급 체계(CES)가 주를 이루고 있으며, 스웨덴의 경우 직접 대규모 지역난방계통에 연계하여 기저부하를 담당하는 저렴한 열공급원으로 운영되고 있다.

그러나 국내에서는 하수열을 이용하는 열펌프 시스템이 시범보급된 바 있으나 상용운전으로 정착되기에는 많은 애로점을 갖고 있기 때문에 이에 대한 기술개발 및 국가의 에너지 보급정책지원이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대구서부하수처리장에 100RT급 2단압축 열펌프 시스템을 시범사업으로 설치하고자 하수의 배출현황을 조사하고, 기존 시스템과의 운전특성을 비교하여 타당성을 평가하고자 하였다.

2. 하수배출 현황 및 특성

2.1 하수온도, 유량 및 수질

대구서부하수처리장의 하수처리량을 년중 월별로 조사한 결과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 계절별로 약간의 변화가 있다. 즉, 하절기에는 물 소비량이 증가하기 때문에 동절기에 비해 약 20%

이상의 하수처리량이 많은 것으로 나타나고 있다. 그리고 Fig. 2는 하수의 연중온도를 나타낸 것인데 가장 추운 1월에는 10℃ 내외이고, 가장 더운 8월에도 25℃ 이하로서 열펌프의 열원으로 활용하기에 매우 유용함을 알 수 있다. 여기서 대기온도는 1일동안의 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 열원으로, 난방시 냉각수로 사용하면 열펌프의 성능을 높일 수가 있기 때문에 에너지절약효과가 매우 큰 것으로 사료되고 있다.

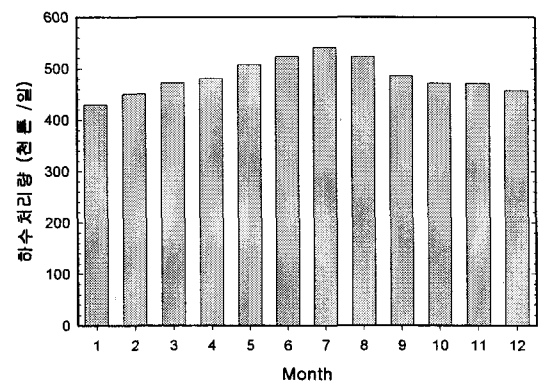


Fig. 1 Sewage treatment capacity by the month

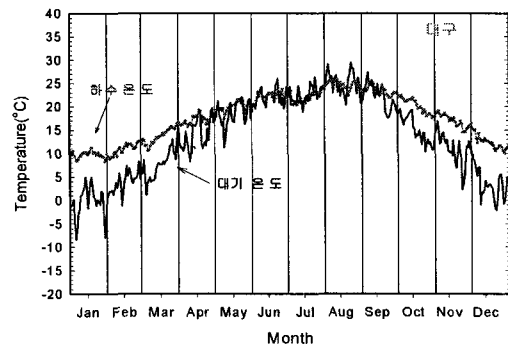


Fig. 2 Sewage treatment temperature by the month

또한, 계절별 하루동안의 하수처리량과 하수온도를 나타낸 것이 Fig. 3과 Fig. 4이다. 하수처리량을 살펴보면 하절기에는 하루동안 거의 일정하게 배출하고 있지만 타계절에서는 아침시간에 약 30% 정도 적게 배출됨을 알 수 있다. 그리고 하

수온도는 아침시간에 약간 낮고, 오후 시간에 높게 나타남을 볼 수 있으며, 이는 열펌프의 부하 운전 및 성능에 많은 영향을 끼치기 때문에 이에 대한 자료를 적극 반영하여 설계하는 것이 바람직하다.

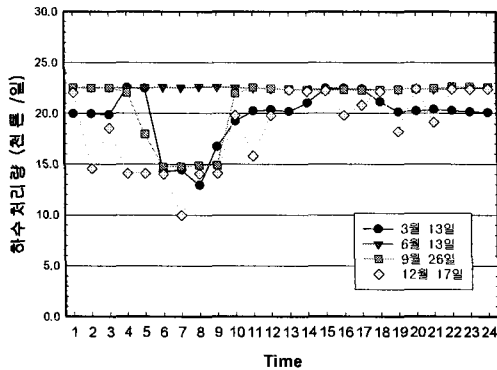


Fig. 3 Daily sewage treatment capacity in plant

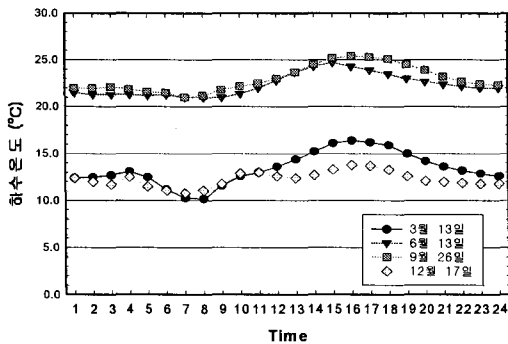


Fig. 4 Daily sewage treatment temperature in plant

하수처리수로부터 열을 회수하는 열교환기는 열원의 조건에 적합한 재질과 구조를 갖추어야 한다. 수질이 불량할 경우 전열관의 내부에 스케일과 슬라임이 형성되어 전열성을 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 Table 1과 같으며, 열교환기의 재질에 가장 영향을 많이 끼치는 SS 성분이 10 이하로서 열교환기 재질에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료되며, 하수가 고도화처리되기 때문에 이물질은 거의 없으나 인이 다량 보유하고 있고, 이끼류 등이 성장하고 있기 때문에 자동여

과장치는 필요없으나 열교환기 전열관의 자동세정장치는 필요할 것으로 사료된다.

Table 1 The quality of discharging water (unit : mg/ℓ)

BOD	COD	SS	T-N	T_P
3.7	10.7	3.6	10.4	1.23

2.2 하수처리수의 온도차에너지 부존량 및 이용가능량

하수처리수 온도차에너지의 에너지량은 부존량과 이용가능량으로 구분하여 추산하고 있다. 부존량은 이론적으로 산출할 수 있는 잠재적 에너지량으로 다음 식으로 구할 수 있다.

$$E = W \times C_p \times dt \quad (1)$$

여기서 W는 하수처리수의 질량유량이고, Cp는 비열, dt는 이용온도차이다. 실제 계산에 있어서는 dt = 3°C, Cp = 4.18 kJ/kg K, W는 연평균 유량을 이용하였다. 이용가능량은 물리적 조건 및 기술적 조건 등의 제약을 고려하고 현지점 또는 장래에 개발이 기대되는 에너지량을 말한다. 즉, 열펌프를 냉방 및 난방에 사용하는 것을 가정하고 하수처리수 온도변화에 따른 성적계수 변화를 고려하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{냉방 이용가능량 } E_c = E \times [\text{COP}_c / (\text{COP}_c + 1)] \quad (2)$$

$$\text{난방 이용가능량 } E_h = E \times [\text{COP}_h / (\text{COP}_h - 1)] \quad (3)$$

Fig. 5는 미활용에너지 이용기술의 실증사이트 후보인 대구서부하수처리장의 월별 하수처리수의 온도차에너지 부존량을 나타낸 것으로서 연간 총 부존량은 2.2×10^6 GJ/년으로 하절기가 동절기보다 약 20% 정도 크게 나타난다. 그리고 Fig. 6은 냉난방이용가능량을 나타낸 것인데 시간당 평균 냉방가능량은 50.03 Gcal/h이며, 난방이용가능량은 84.32 Gcal/h로서 대규모의 지역냉난방도 가능한 막대한 양이 부존하고 있다.

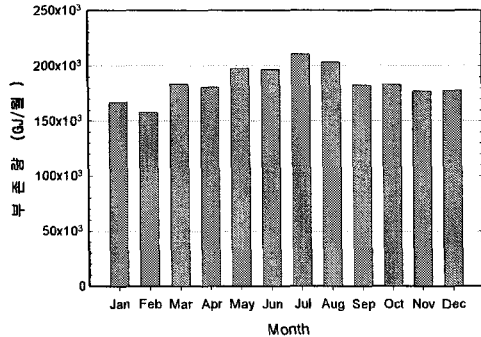


Fig. 5 Sewage resources in plant

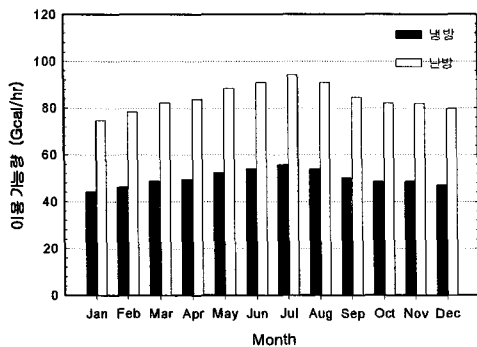


Fig. 6 Utilization quantity in plant

3. 실증시스템 구성 및 타당성 분석

3.1 실증사이트

실증사이트의 적용대상 건물은 대구광역시의 환경시설공단과 서부하수처리장의 관리사무소가 입주해 있으며, 지하 1층, 지상 2층으로 되어 있다. 건물의 연면적은 3,599.7m²로서 지하 1층은 기계실과 체력단련 및 휴게실 등이 존재하고, 지상 1층은 서부하수처리장 관리사무소이며, 지상 2층은 환경시설공단이 위치하고 있다. 따라서 건물의 냉난방부하량을 조사한 결과 냉방부하는 약 294,000kcal/h이며, 난방부하는 약 216,000kcal/h로 분석되었다.

3.2 시스템 구성

현재 적용대상 건물은 1톤 용량의 증기보일러(경유 사용)로 난방과 온수급탕을 하며, 냉방은 120RT의 전기식 왕복동식냉동기를 사용하고 있다. 따라서 본 연구의 실증규모인 100RT급 열펌프시스템으로 냉난방하기 위한 적용처로서 적당한 규모와 용도를 가지고 있으며, Fig. 7은 기존

시스템의 개략도이고, Fig. 8은 실증시스템의 개략도를 나타내고 있다.

실증시스템의 운전조건은 Table 2와 같으며, 난방운전시 온수온도는 50℃이며, 압축기의 소비동력은 125kW로서 난방COP는 3.5이다. 그리고 냉방운전시 냉수온도는 7℃이고, 압축기의 소비동력은 83.7kW로서 냉방COP는 4.5로 평가되었다.

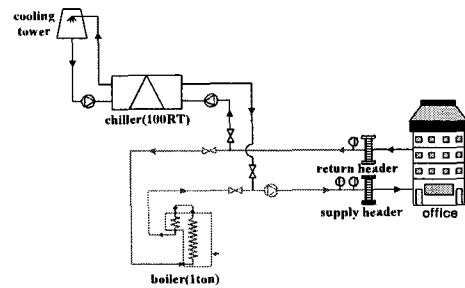


Fig. 7 Schematic of conventional system

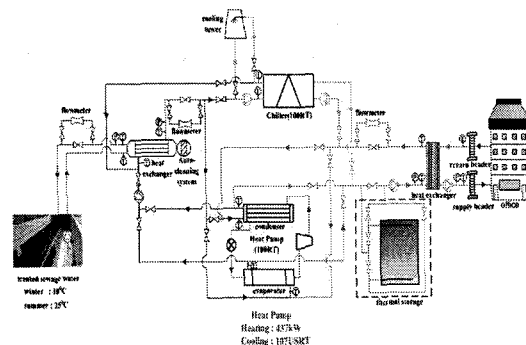


Fig. 8 Schematic of demonstration system

Table 2 Condition of operation

◎ heating mode

	입구 온도(℃)	출구 온도(℃)	온도차 (℃)	유량 (m ³ /h)	열량 (kW)
하수처리수	10.0	7.3	2.7	98.3	308
열원수	4.0	6.7	2.7	98.3	308
온수	44.2	50.0	5.8	64.8	437

◎ cooling mode

	입구 온도(℃)	출구 온도(℃)	온도차 (℃)	유량 (m ³ /h)	열량 (kW)
하수처리수	25.0	29.0	4.0	98.3	457
냉각수	33.0	29.0	4.0	98.3	457
냉수	12.0	7.0	5.0	64.8	377

3.3 타당성 분석

기존시스템 대비 실증시스템의 운전효과에 대한 타당성을 검토하기 위하여 냉난방운전시간을 8시간/일, 21일/월로 하고 년중 난방기간은 6개월, 냉방기간은 4개월로 기준하였다. 기존시스템의 난방연료로서는 경유를 사용하고 냉방에서는 전기를 사용하며, 실증시스템은 전기만을 사용하는 것으로 하였다. 이때 축열부하율, 에너지가격변동 및 시스템 성능변화에 따라서 에너지절감비용, 투자비회수기간 및 CO2저감효과를 분석하였다.

Fig. 9는 축열조 설치에 따른 축열부하율을 증가시켰을 때 에너지절감비용을 나타낸 것이고, Fig. 10은 투자비회수기간을 나타낸 것으로서 축열부하율이 증가하면 심야전력을 이용하기 때문에 에너지절감비용은 증가하지만 투자비회수기간은 큰 변화가 없는 것은 축열조 설치비용이 영향을 끼치지 않기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 11 및 Fig. 12는 경유가격 및 전기요금에 대한 변동이 있을 경우 에너지절감비용 및 투자비회수기간을 나타낸 민감도분석으로서 전기요금의 변동폭보다 경유가격의 변동폭이 변화에 따라서 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 현재가격으로는 약 42,000천원/년 절약되고, 회수기간은 5.4년으로 나타나고 있다.

Fig. 13은 시스템의 성능변화에 따른 CO2저감량을 나타낸 것으로서 성능이 향상되면 저감량도 크게 증가하는 것으로 나타나고 있다. 현재의 시스템 성능으로는 19.3TC/년으로 평가되었다. 그리고 Fig. 14는 성능변화에 따른 투자비회수기간을 나타낸 것으로서 성능이 20% 향상되면 투자비회수기간도 5년으로 줄어들게 된다.

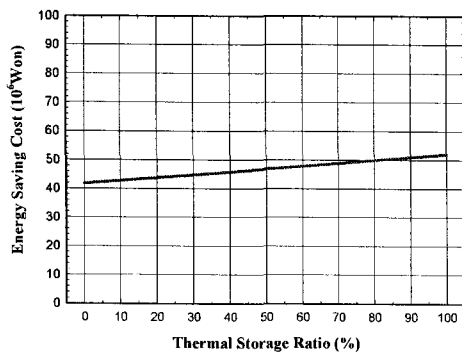


Fig. 9 Energy saving cost vs. thermal storage ratio

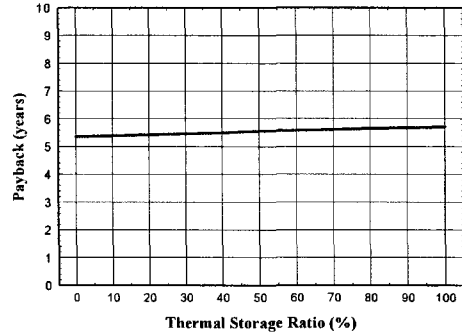


Fig. 10 Payback vs. thermal storage ratio

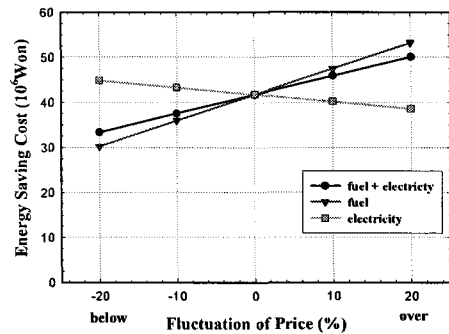


Fig. 11 Energy saving cost vs. fluctuation of price

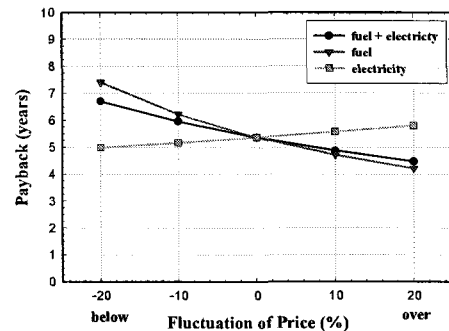


Fig. 12 Payback vs. fluctuation of price

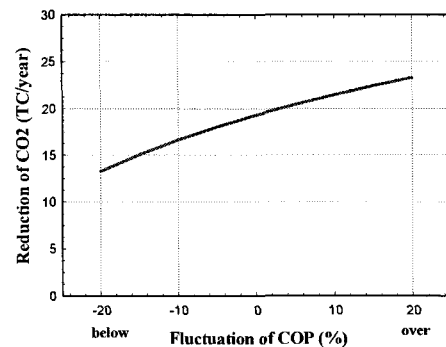


Fig. 13 Reduction of CO2 vs. fluctuation of COP

후 기

본 연구는 과학기술부의 21세기프론티어연구개발사업인 이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : M102KP010004-05K1601-00410)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 윤희기, 2005, 미활용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구, 과학기술부
2. 신현준, 1997, 도시 미활용에너지利用 熱펌프 시스템 開發-下水熱源 熱펌프 시스템 開發을 中心으로-, 통산산업성
3. 에너지관리공단, 2002, 폐열회수형 히트펌프 확대보급방안 연구, 산업자원부
4. 下水熱利用促進硏究會, 1994, 未利用에너지活用の手引き, 山海堂, pp. 12-28
5. 市原 潔, 1996, 未利用에너지として下水熱を利用するヒートポンプシステム, 設備と管理, Vol.30, No.13, pp2-10
6. Large Electrical Heat Pump System with Distribution at Intermediate Temperature- Petter Neksa, SINTEF, Norway

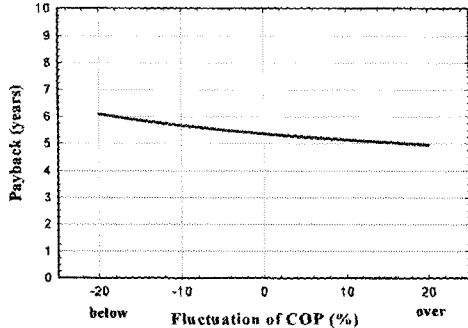


Fig. 14 Payback vs. fluctuation of COP

4. 결론

본 연구는 하수처리수 열원이용 열펌프시스템을 대구서부하수처리장에 설치하고자 하수배출현황조사와 실증시스템의 운전조건 및 타당성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하수처리량 및 하수온도를 년중 월별로 조사한 결과 계절별로 약간의 변화는 있지만 하절기에는 물 소비량이 증가하기 때문에 동절기에 비해 약 20% 이상의 하수처리량이 많은 것으로 나타나고, 하수의 연중온도는 가장 추운 1월에는 10℃ 내외이고, 가장 더운 8월에도 25℃ 이하로서 열펌프의 열원으로 활용하기에 매우 유용하다.

2) 하수처리수의 온도차에너지 연간 총 부존량은 2.2×10^6 GJ/년이며, 시간당 평균 냉방가능량은 50.03Gcal/h이고 난방이용가능량은 84.32 Gcal/h로서 대규모의 지역냉난방도 가능한 막대한 양이 부존하고 있다.

3) 실증시스템의 난방운전시 온수온도는 50℃이며, 압축기의 소비동력은 125kW로서 난방COP는 3.5이며, 냉방운전시 냉수온도는 7℃이고, 압축기의 소비동력은 83.7kW로서 냉방COP는 4.5로 평가되었다.

4) 기존시스템 대비 실증시스템의 에너지절감비용은 약 42,000천원/년이고, 투자비회수기간은 5.4년으로 평가되었으며, CO2저감량도 19.3TC/년으로 산출되었다.