

하천수 이용 열원시스템의 경제성 평가

이철구^{*†}, 김종대^{**}, 임태순^{**}, 최명식^{**}, 방승기^{***}, 함홍돈^{****}

^{*}세명대학교 건축공학과, ^{**}계룡건설산업(주), ^{***}경민대학교 건축인테리어과,
^{****}대원대학교 건축인테리어계열

Economic Evaluation on Energy System Using River Water

Chulgoo Lee^{*†}, Jongdae Kim^{**}, Taesoon Im^{**}, Myungsik Choi^{**},
Seungki Pang^{***}, Heungdon Ham^{****}

^{*}Department of Architectural Engineering, Semyung University, ^{**}Kyeryong Construction Industrial,
^{***}Department of Architecture, Kyungmin University,
^{****}Department of Architecture and Interior, Daewon University

Abstract

It has become very important for unused energy to be used for building air conditioning. Economic evaluation on energy system by using river water as a heat source, which is one of the unused energy, was carried out. The floor area of the building and the distance between heat source equipment and river was assumed 50,000 m² and 200 m. General heat source system using absorption chiller-heater was used for comparing to the energy saving system, and payback period method using initial cost and running cost of two systems, was used to perform economic evaluation. According to development of high capacity of water source heat pump which is appropriate for using river water, initial cost for the system has been reduced. Payback period was about 3.2 years, and this period might be shortened if nation's economic support enact.

Key words: River water(하천수), Unused energy(미활용에너지), Economic evaluation(경제성 평가), Payback period(회수기간), Initial cost(초기투자비), Running cost(운전비)

1. 서 론

선진국을 중심으로 시작된 신재생에너지 및 미활용에너지의 개발 및 적용의 활성화는 우리나라에서도 피할 수 없는 시대적 과제가 되었으며, 우

리 정부도 에너지 수급상황 개선 및 지구환경의 보호 등을 위해 신재생에너지 및 미활용에너지의 보급 확대를 적극 추진하고 있다.

여러 미활용에너지 중 하천수는 해수, 하수 등과 같이 온도차에너지로 정의할 수 있는데, 겨울철에는 외기온도보다 높고, 여름철에는 외기온도보다 낮으며, 또 연중 안정적인 공급이 가능하기 때문에 공기를 열원으로 하는 일반적인 시스템보다 더 에너지효율적이라 할 수 있다. 그러나 하천수를 이용하는 열원시스템은 하천수를 유입하는 과정에서 발생하는 이물질로 인해 열교환기가 오

† Corresponding author
Tel.: +82-43-649-1421, Fax: +82-43-649-1755
E-mail: lcg123@semyung.ac.kr
접수일 : 2013년 4월 16일
심사일 : 2013년 5월 1일
채택일 : 2013년 5월 16일

염되는 부작용과 함께, 공기열원 시스템에 비해 초기공사비가 증가하는 문제가 있기 때문에 경제성 분석을 통한 타당성 검토가 선행되어야 한다.

하천수를 이용한 열원시스템에 관해, 박일환 등^[1]은 LCC분석을 통해 경제성 평가를 하였으며, 박차식 등^[2]은 LCC 및 투자회수기간에 의한 방법으로 시스템의 성능 특성과 경제성 평가를 행하였다. 또 김희환 등^[3]은 하천수 열원 열펌프 실험 장치를 제작하여 실험 및 시뮬레이션을 통해 시스템의 성능평가를 수행했으나, 하천수 이용 열원 시스템의 경제성을 평가하기 위한 데이터는 그리 많지 않은 실정이다.

또 하천수를 이용하여 열원시스템을 구성할 경우 열원기기 주변에 하천수가 존재해야 한다는 대전제가 필요하나, 기존의 연구는 규모 및 거리를 일정 수치로 가정해서 이루어져 있다. 본 연구는 이러한 점을 고려하여, 하천수와 건물 내 열원 시스템 간의 거리도 검토한 경제성 평가를 행하고자 한다.

2. 조건 설정

2.1 수요처 조건

현재 국내에서 실제로 하천수를 열원으로 이용하고 있는 곳 중에서, 대규모 시설로는 지역 난방 사업장이 있고, 냉난방을 동시에 적용하는 곳은 비교적 소규모이다. 그러나 대부분의 미활용에너지 적용 시스템과 마찬가지로, 하천수를 열원으로 하는 시스템의 경제성을 확보하기 위해서는 비교적 대규모 시설이 될 필요가 있으므로, 본 연구에서는 연면적 50,000m²인 건물의 냉난방에 적용되는 시스템을 기준으로 하여 검토하기로 한다.

한편 열원기기와 열원(하천수)과의 거리 또한 초기공사비에 영향을 미치므로 거리는 200m를 기준으로 하며, 다른 거리에 대해서는 거리 대비 공사비 할증이 비례하는 것으로 가정하여 검토하기로 한다. 아울러 냉운수펌프의 용량 산정에 필요한 건물 높이는 10층 건물을 상정하여 40m로, 공급과 환수의 온도차는 일반적인 값인 5°C로 가정한다.

2.2 적용 하천수 조건

대상 지역을 서울로 가정하여, 이용하는 하천수는 한강의 지류인 중랑천으로 하였다. Fig. 1은 중랑천의 연간 월 평균 수온 및 그에 따른 열펌프의 COP를 나타낸 것이다. 월 평균 하천수 온도는 환경부 홈페이지의 물환경정보시스템에서 제공한 2004~2011년도 자료를 참고했으며, 열펌프 COP는 시판되고 있는 각종 수열원 열펌프의 평균적인 값을 적용하였다.

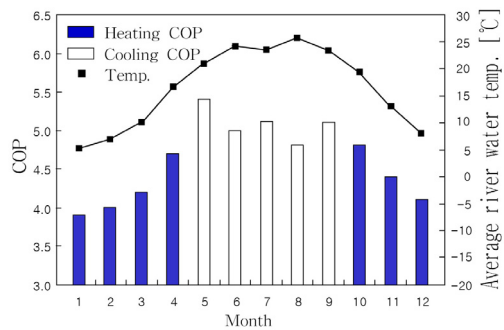


Fig. 1 Variation of the monthly average temperature of river water and COP of the river water source heat pump.

2.3 비교 대상 시스템

하천수를 이용하는 열원시스템의 경제성을 판단하기 위한 비교 대상 시스템으로는 현재 널리 적용되고 있는 도시가스 이용 흡수식냉운수기 시스템을 선정하였다. 두 시스템에 적용된 주요 장비의 종류 및 용량은 Table 1과 2에 나타나 있다.

3. 시스템 개요

하천수를 열원으로 이용하는 시스템에는 하천수를 직접 이용하는 방법과, 하천수와 맑은 물 간에 먼저 열교환을 시킨 후 이 맑은 물을 열펌프에서 이용하는 간접적 방법이 있는데, 직접이용방식이 열펌프 본체의 부식과 같은 문제는 있으나 열펌프 내에서 온도차를 크게 취할 수 있어 에너지 측면에서는 직접이용방식이 유리하다. 따라서 본

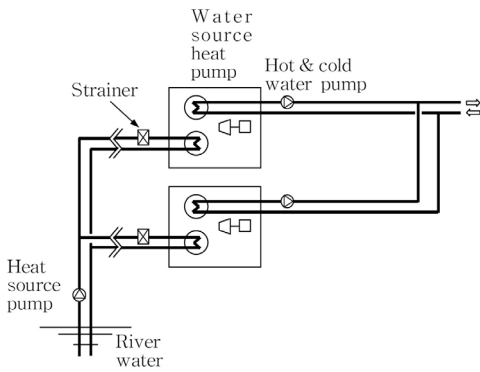


Fig. 2 Schematic diagram of heat source part on river water utilizing heat pump system.

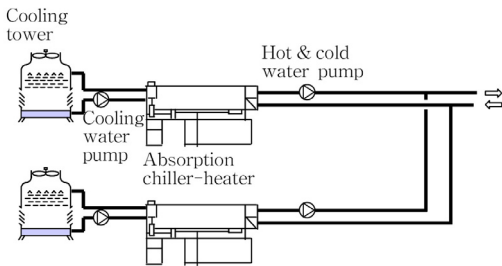


Fig. 3 Schematic diagram of heat source part on gas utilizing absorption chiller-heater system.

연구에서는 에너지효율 측면에서 직접 열교환 방식을 검토 대상으로 하였다.

한편 앞서 조건 설정에서 언급했듯이 하천수 이용 시스템의 경제성 평가를 위한 비교대상 시스템으로는 현재 일반적인 열원시스템으로 많이 적용되는 도시가스 이용 흡수식냉운수기 시스템을 선정하였다. 두 방식에 대한 열원기기 부분에서의 시스템 흐름도를 Fig. 2, Fig. 3에 나타내며, 공사비 산정은 이 흐름도의 범위 즉 1차측 범위로 한다.

4. 초기투자비 산정

초기투자비 구성항목은 기기비와 공사비로 하였으며, 앞서 언급했듯이 초기투자비 산정은 Fig. 2와 Fig. 3의 범위 내로 한다. 앞서 수요처 조건에서 검토 대상 사무소건물의 규모를 연면적 50,000m²로 가정했는데, 이 규모에 대한 대략적인

열원기기 용량은 5,000 kW(약 1,420 RT)로 산정할 수 있으므로^[4], 본 연구에서는 이 용량을 기

Table 1 Initial cost of river water utilizing heat pump system

Categories		Each capacity and quantity	Unit price (1,000 won)	Price (1,000 won)
Equip. cost	(1) Water-source heat pump	1,000 kW×5	183,000	915,000
	(2) Hot and cold water pump	30 kW×5	7,200	36,000
	(3) Heat source pump	30 kW×5	7,200	36,000
	(4) Equipment related construction	-	{(1)~(3)} × 0.25	246,750
Const. cost	(5) Indoor Pipe	350A×40m	200	8,000
	(5) River Pipe	350A×400m	200	80,000
	(6) Automatic control	-	{(1)~(5)} × 0.15	198,260
	(7) Electricity	40% of pipe	-	35,200
(8) Other expenses	-	{(1)~(7)} × 0.1	155,520	
Total		-	-	1,710,730

Table 2 Initial cost of general heat source system

Categories		Each capacity and quantity	Unit price (1,000 won)	Price (1,000 won)	
Equip. cost	(1) Absorption chiller-heater	500 RT×3	180,000	540,000	
	(2) Cooling tower	700 RT×3	56,000	168,000	
	(3) Pump	Hot and cold water	30 kW×3	9,300	27,900
		Cooling water	55 kW×3	19,000	57,000
(4) Equipment related construction	-	{(1)~(3)} × 0.25	198,225		
Const. cost	(5) Equip. room	350A×40m	200	8,000	
	(5) Pipe Cooling tower	450A×100m	140	14,000	
	(6) Automatic control	-	{(1)~(5)} × 0.15	122,235	
	(7) Electricity	40% of pipe	-	8,800	
(8) Other expenses	-	{(1)~(7)} × 0.1	94,590		
Total		-	-	1,040,530	

Table 3 Monthly and annual energy use of water source heat pump

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Energy use rate in existing study [%]	12.2	10.2	7.8	5.1	4.9	7.1	12.2	11.8	7.6	3.9	7.5	9.8	100
Amount of energy use for this study [MWh]	852.8	713.0	545.2	356.5	342.5	496.3	852.8	824.8	531.2	272.6	524.3	685.0	6,990
COP(Fig. 1)	3.9	4.0	4.2	4.7	5.4	5.0	5.1	4.8	5.1	4.8	4.4	5.1	4.71
Energy use [MWh]	218.7	178.3	129.8	75.9	63.4	99.3	167.2	171.8	104.2	56.8	119.2	134.5	1,519.1

[Remark] The peak power was estimated based on January in which there are most electricity usage and lowest COP. And the result is as follows, $5,000 / 3.9 \approx 1,280 \text{ kW}$.

준으로 검토하기로 한다. 또 기기별 대수는 부분 부하 운전 및 실제 시판되고 있는 제품의 용량 등을 고려하여 적용했으며, 기기비와 공사비의 데이터는 물가정보자료 및 업체로부터의 자료를 참고로 하여 결정하였다. 한편 Fig. 2에 나타나 있는 스트레이너는 그 금액이 크지 않아 기기부속공사에 포함시키는 것으로 하였다. Table 1과 Table 2에 두 시스템의 초기투자비 산정결과를 나타낸다.

5. 연간 운전비

5.1 운전비 산정방법

연간 운전비를 산정하기 위해 연간 에너지사용량을 추정할 필요가 있는데, 연간의 부하에 대한 자료는 국내외 공히 매우 부족하며, 각 자료 또한 일관성이 없는 것이 현 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일본의 공기조화위생공학회에서 제시하고 있는 자료인 전부하상당시간(냉난방 합계 1,398h)을 연간의 에너지사용량 및 운전비 계산에 이용하였다^[5].

한편 Fig. 1에 수열원 열펌프의 월별 평균수온에 따른 COP가 나타나 있듯이, 열펌프의 경우 연간 운전비를 비교적 정확하게 산정하기 위해서는 월별 COP를 고려할 필요가 있으므로, 열펌프의 에너지사용량은 COP를 고려하여 산정하였다.

5.2 연간 에너지사용량

앞서 언급했듯이 열펌프의 에너지사용량을 산

정하기 위해서는 월별 COP를 고려할 필요가 있으며, 따라서 기존의 연구^[6]에서 이용한 월별 에너지 사용비율을 본 연구대상 건물의 용량으로 환산해서 적용하였다. Table 3에 기존 연구의 월별 에너지 사용비율과 본 연구대상에서의 환산량을 고려한 수열원 열펌프의 월별 에너지사용량을 나타낸다. Table 3의 셋째 칸이 환산량으로, 이것은 본 연구대상 건물의 피크부하인 5,000 kW에 전부하상당시간인 1,398시간을 곱한 것을 연간 에너지사용량으로 하고, 이것에 둘째 칸의 월별 비율을 곱한 것이다. 이 값에 월별 COP를 적용함으로써 수열원 열펌프의 월별 에너지사용량을 산정하였다.

동일한 방법으로 흡수식냉온수기, 냉온수펌프, 냉각수펌프, 열원펌프, 냉각탑 등 각 기기의 월별 에너지사용량을 산정하였다. 이들 기기는 월별 COP와는 관계없으나, 전기요금 기준이 월별로 다르기 때문에 월별 에너지사용량을 산정할 필요가 있다.

Table 4에 하천수 이용 시스템에서의 냉온수펌프 및 열원펌프의 월별 에너지사용량, 그리고 Table 5에 일반시스템에서의 각 기기의 월별 에너지사용량을 나타낸다. Table 4와 Table 5에서도 에너지사용량은 전부하상당시간 개념을 도입하여 산정하였다. 또 현재 도시가스요금은 열량기준으로 산정하기 때문에, Table 5에서 흡수식냉온수기의 가스사용량은 $1 \text{ kW} \approx 3.61 \text{ MJ/h}$ (따라서 $5,000 \text{ kW} = 18,050 \text{ MJ/h}$)로 하여 산정하였다.

5.3 연간 운전비

Table 4와 Table 5에 나타난 에너지사용량에

Table 4 Monthly and annual energy use of hot and cold water pump, heat source pump in river water utilizing system

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Hot and cold water pump [MWh]	25.6	21.4	16.4	10.7	10.3	14.9	25.6	24.7	15.9	8.2	15.7	20.6	150 kW×1,398 h = 209.7 MWh
Heat source pump [kWh]	25.6	21.4	16.4	10.7	10.3	14.9	25.6	24.7	15.9	8.2	15.7	20.6	150 kW×1,398 h = 209.7 MWh

Table 5 Monthly and annual energy use of absorption chiller-heater, cooling tower and pumps in general heat source system

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Absorption chiller-heater [GJ]	3,079	2,574	1,968	1,287	1,236	1,792	3,079	2,978	1,918	984	1,893	2,473	18,050 MJ/h×1,398 h ≈ 25,234 GJ
Cooling tower [MWh]	-	-	-	-	3.1	4.5	7.7	7.4	4.8	-	-	-	45 kW×1,398 h = 62.9 MWh
Hot and cold water pump [MWh]	15.4	12.8	9.8	6.4	6.2	8.9	15.4	14.8	9.6	4.9	9.4	12.3	90 kW×1,398 h = 125.8 MWh
Cooling water pump [MWh]	-	-	-	-	11.3	16.4	28.1	27.2	17.5	-	-	-	165 kW×1,398 h = 230.7 MWh

[Remark] Energy use of cooling tower and cooling water pump was adjusted assuming that they were operated 5 months(May~Sep.) in summer.

Table 6 Criterion of electric rate

Categories	Rate	Remarks
Basic rate	6,200 won/kW	More than 300 kW of contract demand
Meter rate	82.4 won/kWh	Nov. ~ Feb.
	63.1 won/kWh	Mar. ~ Jun., Sep. ~ Oct.
	83.9 won/kWh	Jul. ~ Aug.

Table 7 Criterion of gas rate

Meter rate	Remarks
20.8214 won/MJ	Dec. ~ Mar.
13.0258 won/MJ	May ~ Sep.
19.9473 won/MJ	Apr., Oct. ~ Nov.

Table 8 Monthly and annual running cost in river water utilizing system (heat pump+hot and cold water pump+heat source pump) (1,000 won)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Basic rate	9,796												117,552
Meter rate	22,240	18,219	10,260	6,140	5,300	8,146	18,324	18,710	8,582	4,619	12,409	14,478	147,427
Total	32,036	28,015	20,056	15,936	15,096	17,942	28,120	28,506	18,378	14,415	22,205	24,274	264,979

Table 9 Monthly and annual running cost in general heat source system (absorption chiller heater+cooling tower+hot and cold water pump+cooling water pump) (1,000 won)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual	
Elec.	Basic rate	1,860												22,320
	Meter rate	1,269	1,055	618	404	1,300	1,880	4,296	4,145	2,013	309	775	1,014	19,078
Gas	Meter rate	64,109	53,594	40,977	25,672	16,100	23,342	40,106	38,791	24,983	19,628	37,760	51,491	436,553
	Total	67,238	56,509	43,455	27,936	19,260	27,082	46,262	44,796	28,856	21,797	40,395	54,365	477,951

의거해서 시스템별 연간 운전비를 계산하게 되는데, 운전비 계산을 위한 전기 및 가스요금 산정기준을 Table 6과 Table 7에 나타낸다. 전기요금은 한국전력의 전력요금체계 중 본 시스템의 용량 및 조건에 합당한 ‘산업용전력(을) 고압 A 선택 I’을 기준으로 하였으며, 가스요금은 서울지역 도시가스 회사의 요금체계 중 ‘냉방용(냉난방 공조용)’을 기준으로 하였다. Table 3~5에 나타낸 에너지사용량 및 Table 6과 Table 7에 나타낸 전기요금과 가스요금 산정기준에 의거해서 계산된 시스템별 난방기간 중 운전비를 Table 8(하천수 이용 시스템)과 Table 9(일반 열원시스템)에 나타낸다.

5.4 투자비 회수기간

투자비 회수기간을 산정할 때는 회수기간 중의 이자도 고려대상이기는 하나, 일반적으로는 고려하지 않으므로 본 연구에서도 생략하였다. Table 1과 Table 2에 나타낸 두 시스템에 대한 초기투자비와, Table 8과 Table 9에 나타낸 두 시스템에 대한 연간 운전비에 의거해서 투자비 회수기간을 산정하면 약 3.2년으로 나타났다.

회수기간 중의 이자를 고려하지 않은 결과이기는 하지만, 투자비 회수기간으로서 약 3.2년이라는 기간은 경제성 면에서 비교적 바람직한 결과라고 할 수 있다. 더욱이 유가를 비롯한 국제 에너지가격에 관한 현재 및 미래의 실정, 그리고 신재생에너지 및 미활용에너지에 관한 국가의 정책적 지원이 하천수 이용 시스템에도 이루어진다면 이 기간은 단축될 것이며, 그 경우 경제성 면에서도 더 큰 가치가 있을 것으로 여겨진다. 반면 본 연구에서 적용한 히트펌프의 가격 및 효율은 에너지관리공단의 인증 여부에 관계없이 가장 좋은 조건의 기기를 대상으로 했기 때문에, 실제로 건물 냉난방에 적용할 경우 기기의 가격 및 효율에 따라서는 회수기간이 늘어날 가능성은 있다.

한편, 본 연구에서는 하천수와 수요처와의 거리를 200m로 가정하여 경제성 검토를 하였으나, 실제로 적용하고자 할 경우는 그 이상이 될 수 있으며, 그 경우 초기공사비가 증가하게 된다. Table 3에 의하면 전체 공사비 대비 하천수와 수요처 사

이의 배관공사비 비율은 약 4.7%로, 무시할 수 있는 금액은 아니나 회수기간에 큰 영향을 주는 금액 또한 아니다. 실제로 하천수와 수요처와의 거리를 400m로 가정하고 산정한 회수기간은 약 3.7년으로, 200m일 때의 회수기간과 큰 차이가 나지는 않는다. 따라서 하천수와 수요처와의 거리가 1km 이상과 같이 매우 길지만 않다면, 하천수를 이용한 열원시스템의 경제성은 확보된다고 판단할 수 있다.

6. 결론

미활용에너지 중 하나인 하천수를 건물 냉난방 에너지원으로서의 사용 가능성에 대한 경제성 평가를 행한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 하천수를 이용하기 적합한 수열원 히트펌프의 대용량화가 이루어져, 일반시스템의 열원기기에 비해 여전히 고가이기는 하나, 상대적으로 과거에 비해 초기투자비 부담이 경감되었다.
- (2) 전기 및 가스요금에 관한 현재의 기준으로 운전비 산정을 할 경우 본 시스템의 운전비는 일반적인 열원시스템에 비해 상당히 경감된다.
- (3) 두 시스템에 관한 초기투자비와 연간 운전비에 의거해서 산정한 투자비 회수기간은 약 3.2년으로, 경제성이 있다고 판단된다. 다만 기기 제조업체 및 용량에 따라 가격과 효율에 차이가 있으므로, 투자비 회수기간이 늘어날 가능성은 있다.
- (4) 유가를 비롯한 국제 에너지가격에 관한 현재 및 미래의 실정, 그리고 신재생에너지 및 미활용에너지에 관한 국가의 정책적 지원이 하천수 이용 시스템에도 이루어진다면 투자비 회수기간은 단축될 것이며, 그 경우 경제성 면에서 더욱 유리해진다.

후 기

이 논문은 2012학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임

참고문헌

1. Park, I. H, Yoon, H. K, Chang, K. C., Park, J. T., Park, S. R., Life-Cycle Analysis of the River Water Utilized Energy System, 2005, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 16, No. 6, pp.596-604
2. Park, C. S, Jung, T. H., Park, H. H., Kim, Y. C., 2009, Performance Characteristics and Economic Assessment of a River Water Source Heat Pump System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 21, No. 11, pp.621-628
3. Kim, H. H., Baik, Y. J., Ra, H. S., Park, J. T., Park, S. R., 2002, Experimental Investigation of Heat Pump System Using River Water As a Heat Source, *Proceedings of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, pp.64-69
4. The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2001, *Handbook of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.1, pp.2.4-5~2.4-7
5. Japan District Heating & Cooling Association, 2002, *Handbook of District Heating and Cooling*, pp.47
6. Ko, M. J., Oh, J. K., Kim, Y. I., Kim, Y. S., 2007, Economic Estimation of Heat Storage Type Geothermal Source Heat Pump System Adopted in Government Office Building by a Payback Period Method, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol 27, No. 4, pp.175-182