

하천수 열원 열펌프 시스템의 성능 특성 및 경제성 평가

박 차 식, 정 태 훈*, 박 흥 회**, 김 용 찬****

호서대학교 자동차공학과, *현대기아자동차, **고려대학교 대학원, ***고려대학교 기계공학과

Performance Characteristics and Economic Assessment of a River Water : Source Heat Pump System

Chasik Park, Taehun Jung*, Honghee Park**, Yongchan Kim****

Department of Automotive Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

*Hyundai Kia Motor Company, Hwaseong, 445-706, Korea

**Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

***Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

(Received July 27, 2009; revision received October 5, 2009)

ABSTRACT: The objectives of this study are to analyze the performance of a river water-source heat pump and to carry out economic assessment for the heat pump. The COP of the river water-source heat pump was 3-21% higher than that of the air-source heat pump because river water provides stable operating temperature compared with air temperature throughout the year. The economic analysis was carried out by comparing the initial and operating cost of the river water-source heat pump with those of the conventional air-source heat pump. The ratio of the life cycle operating cost to the life cycle cost increased with the increase of building capacity. The payback period was found to be less than 3.5 years when the capacity of the river water-source heat pump was larger than 10 RT.

Key words: River water(하천수), Heat pump(열펌프), Life cycle cost(LCC, 생애주기비용), Payback period(투자회수기간), Economic assessment(경제성 평가)

기 호 설 명

- DR : 할인율 [%]
- IC : 초기투자비 [원]
- OP : 운전비 [원]
- PP : 투자회수기간 [년]
- PV : 현존가치 [원]
- PWAF : 연금현가계수

그리스 문자

alter : 대안 시스템

conv : 기존 시스템

1. 서 론

최근 산업화의 급격한 확산으로 인하여 에너지 수요가 증가함에 따라 화석에너지의 대량 소비와 지구온난화 등의 지구환경 문제가 제기되고 있다. 에너지자원과 지구환경에 대한 관심이 높아지면서 1차에너지의 사용을 최대한 줄이면서 환경친화적인 산업구조의 형태를 갖는 에너지 이용 기술 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 열펌프 시스템에 다양한 열원 적용을 검토하여 기존의 공기열원 열펌프 시스템의 대안을 검토할 수 있다. 공기열원의 대안으로

† Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3366; fax: +82-2 921-5439

E-mail address: yongckim@korea.ac.kr

미활용에너지는 시스템효율 측면에서 우수한 활용 방안이 될 수 있다. 미활용에너지란 에너지 자원으로서는 존재하고 있으나 양 및 질적인 문제와 경제성 등으로 사용되지 못하고 자연계로 배출되는 에너지를 말한다. 미활용에너지의 하나인 하천수는 겨울철에는 외기온도에 비하여 높고, 여름철에는 외기온도에 비하여 낮기 때문에 열펌프의 열원으로 사용하기에 효과적이며, 연중 안정적인기 때문에 우수한 성능을 기대할 수 있다.

Lian et al.⁽¹⁾은 중국의 대표적인 도시들을 기준으로 열펌프 시뮬레이션을 수행하여 수열원, 공기열원 열펌프와 전기 보일러의 성능을 비교한 결과, 중국 양쯔강 주변의 영역에서 수열원 열펌프의 에너지 절감효과가 최대 19.3% 만큼 발생하는 것을 확인하였다. Chen et al.⁽²⁾은 중국 베이징의 고층 아파트에 지하수 열원을 사용하는 열펌프 시스템을 적용하여 2년간 성능을 측정하였고, 지하수 열원 열펌프가 공기열원 열펌프, 전기 보일러보다 냉방과 난방운전시 각각 20%와 40%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 보고하였다. Okamoto⁽³⁾는 아쿠아리움에 설치된 해수열원 열펌프에 대한 연구를 통하여 공기열원 열펌프 및 흡수식 냉동장치와 성능을 비교하였는데, 각각의 경우에서 해수열원 열펌프가 19%와 42% 만큼 실제 운전비용이 절약되는 것을 확인하였다. 그러나 하천수를 열원으로 사용하는 열펌프 시스템은 기존의 공기열원 열펌프와 비교하여 초기 투자비가 증가하기 때문에 경제성 분석을 통한 적용의 타당성 검토가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 하천수를 열원으로 이용한 열펌프 시스템을 모델링하여 열원의 온도변화에 따른 시스템의 성능을 시뮬레이션 하였고, 기존의 냉난방 시스템을 비교시스템으로 하여 초기투자비와 연간운전비를 산정하여 투자회수기간과 생애주기비용(LCC) 분석방법에 의해 경제성 평가를 수행하였다. 본 연구에 적용한 사이클 시뮬레이션 프로그램에 대한 로직과 검증은 박⁽⁴⁾등과 정⁽⁵⁾등이 발표한 논문에 상세히 소개되어 있다.

2. 열원별 열펌프의 특성

본 연구에서는 일반적인 냉동사이클의 성능을 평가하는 대표적인 프로그램인 ORNL⁽⁶⁾의 모델링 방법에 기초하여 부하변동 및 운전변수 변화에 따른 사이클 시뮬레이션을 실시하였다. 공기열원과 하천수열원을 이용한 열펌프를 기준으로 냉방사이클의 경우에는 증발기에서 원하는 온도의 냉수를 생산하기 위하여 응축기의 열원으로 공기나 하천수를 사용하고, 난방의 경우에는 응축기에서 온수를 생산하기 위하여 증발기의 열원으로 공기나 하천수를 사용하도록 하였다. 운전조건은 월별 모든 열원 조건에서 최대 COP로 보이는 지점으로 선정하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 냉방운전의 경우는 10℃의 물이 증발기로 유입되어 4℃의 냉수를 생산하도록 하고, 난방운전의 경우는 45℃의 물이 응축기로 유입되어 50℃의 온수를 생산하도록 하였다. 하천수열원 열펌프 시뮬레이션에서는 증발기와 응축기 모두 판형 열교환기를 적용하

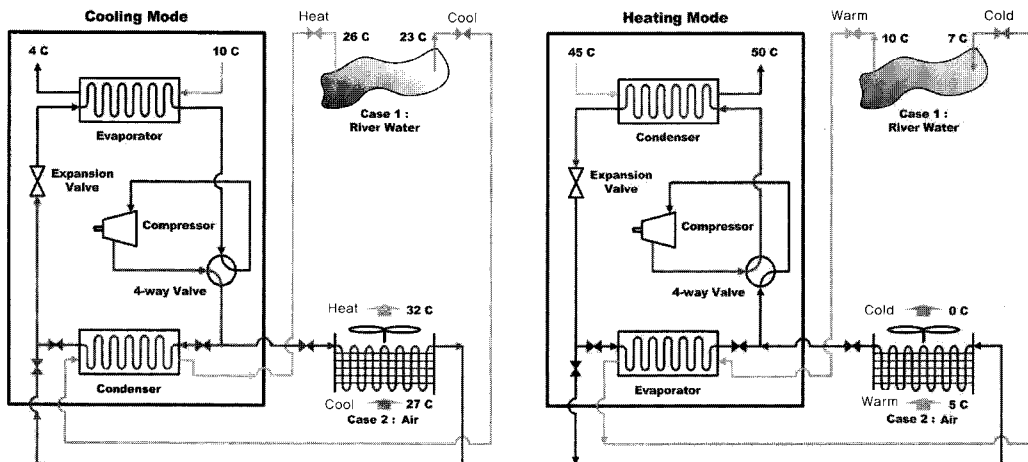


Fig. 1 Schematic of the heat pump system with heat sources.

였고, 공기열원 열펌프 시뮬레이션에서는 냉수와 온수를 생산하는 열교환기는 판형열교환기를 적용하였고, 외부공기와 열교환을 하는 열교환기로는 핀튜브 열교환기를 적용하는 것으로 가정하였다.

2.1 공기열원 열펌프

공기열원 열펌프 시스템은 유지보수가 편리하고, 설치 공간이 많이 필요하지 않으며, 설치하는 지형 조건의 제약이 적다는 점에서 많이 사용되고 있다. 하지만, 우리나라의 경우 공기의 연중 온도변화폭이 크기 때문에 하절기와 동절기의 열펌프 성능저하가 매우 크게 나타나며, 특히 동절기에는 외기온도가 영하로 내려가면 실외측 열교환기에 착상이 생기는 문제가 발생한다. 착상이 시작되면 열교환기를 통과하는 공기유량이 점점 줄어들기 때문에 열전도율이 감소하게 되고, 이에 따라 전열효율이 저하되어 포화 증발온도가 낮아져서 서리의 성장을 촉진시키게 된다. 이러한 적상은 난방능력을 저하시킬 뿐만 아니라 불충분한 증발용량으로 인해 압축기로 액냉매를 유입시킬 수 있기 때문에 적절한 제상운전이 요구된다.

Fig. 2는 서울지역 월평균 공기온도의 변화에 따른 냉난방 COP의 변화를 나타낸다. 월평균 대기온도는 기상청의 2007년도 기상월보자료를 참고하였다. 냉방운전과 난방운전 모두 공기온도의 변화에 민감하게 효율이 변화하는 것을 알 수 있으며, 냉방운전시에는 외기온도가 가장 높은 8월에 COP가 3.53으로 가장 낮고, 난방운전의 경우는 외기온도가 가장 낮은 1월에 COP가 3.35로 가

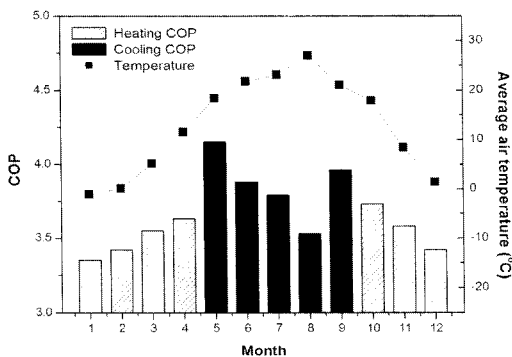


Fig. 2 Variation of the monthly average COP and temperature for the air source heat pump.

장 낮은 것으로 해석되었다. 본 연구에서는 동절기의 착상현상에 따른 공기열원 열펌프의 성능저하에 대한 영향을 고려하지 않았기 때문에 Fig. 2에서 보여지는 공기열원 열펌프의 동절기 성능변화는 열원온도 변화에 따른 최대 성능을 제시한 것이라고 할 수 있으며, 실제의 열펌프 성능은 다른 성능저하 요인들에 의하여 이보다 낮아질 것으로 판단된다. 따라서 경제성 평가부분에서는 공기열원 열펌프 대신 LNG 보일러를 난방주체로 사용하도록 하여 하천수 열원 열펌프와의 성능을 비교하였다.

2.2 하천수열원 열펌프

하천수열원 열펌프는 일반적으로 해수, 하수처리수 등과 같이 계절에 따라 대기와의 온도차가 분명하게 나타나며, 대기에 비하여 온도의 계절변동이 작기 때문에 연중 높은 효율로 운전이 가능하고 에너지의 소비량을 절감할 수 있는 장점이 있다. 국내 하천수에너지의 부존량은 연간 192,000 Tcal 정도인 것으로 조사되었으며⁽⁷⁾, 이 열량은 국내 총 에너지 소비량의 약 14%, 가정 및 상업용 에너지소비량의 60%를 차지하는 막대한 양인 것으로 나타났다. 따라서 열수요처의 근방에 하천수가 존재할 경우, 이 온도차에너지를 열펌프의 열원으로 이용하면, 각 건물의 냉난방과 지역열공급 등의 다양한 용도에서 효율가치가 높아질 것으로 기대되고 있다. 그러나 기존방식에 비하여 열회수설비, 열원수배관 등의 초기 투자비가 많이 소요되므로 어느 정도의 공급규모가 되어야 경제

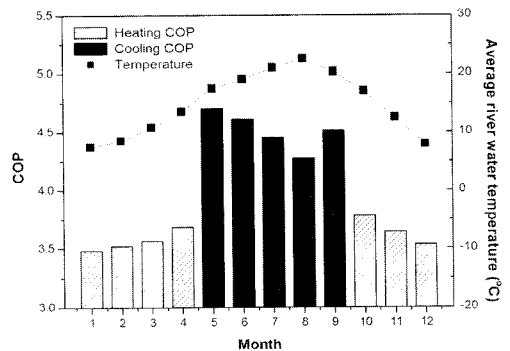


Fig. 3 Variation of the monthly average COP and temperature for the river water source heat pump.

성이 확보되는 단점이 있다.

Fig. 3은 월평균 한강의 온도변화에 대한 하천수열원 열펌프의 월별 COP의 변화를 나타낸다. 월평균 하천수의 온도는 한국수자원공사의 2007년도 자료를 참고하였다. 하천수열원 역시 온도조건에 따른 변화는 있었으나, 연중 공기열원과 비교하여 일정한 효율을 얻을 수 있는 것으로 계산되었다. 냉방운전 시에는 8월에 COP가 4.27로 가장 낮게 나타났지만 공기열원 열펌프와 비교하여 21% 높게 성능이 나타났다. 난방운전의 경우는 1월에 3.48로 가장 낮게 나타났다.

2.3 열펌프의 성능 비교

서울지역의 월평균 기상데이터를 기준으로 공기열원과 하천수열원의 10RT급 열펌프 성능에 대하여 비교하였다. Fig. 4는 월별 냉난방용량에 대하여 공기열원 열펌프에 대한 하천수열원의 비를 나타낸다. 하절기에는 냉방용량이 5% 미만으로 큰 차이를 나타내지 않았으나, 동절기에는 10월을 제외하고 난방용량이 5~15%의 큰 차이를 나타내었다. Fig. 5는 월별 COP에 대하여 공기열원 열펌프에 대한 하천수열원의 비를 나타내는데 모든 경우에서 하천수열원의 효율이 공기열원 열펌프보다 3~21%정도 우수한 것을 알 수 있다. 특히, 공기열원 열펌프는 동절기보다 하절기의 COP 저하가 두드러지게 나타났는데, 이것은 외기온도가 매우 높게 올라감에 따라 압축비가 커져서 소비동력이 그만큼 증가하였기 때문이다. 또한, 동절기의 경우에도 착상의 영향을 고려한다면 외기온도가 내

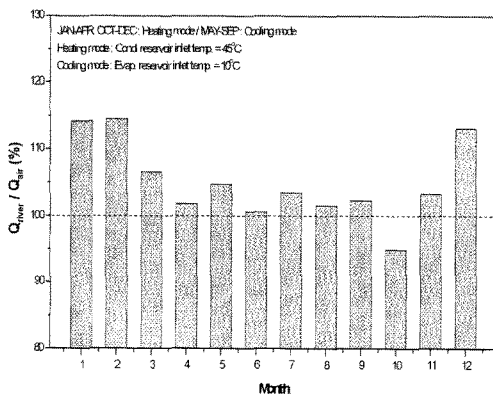


Fig. 4 Variation of capacity ratio with monthly average temperature in Seoul.

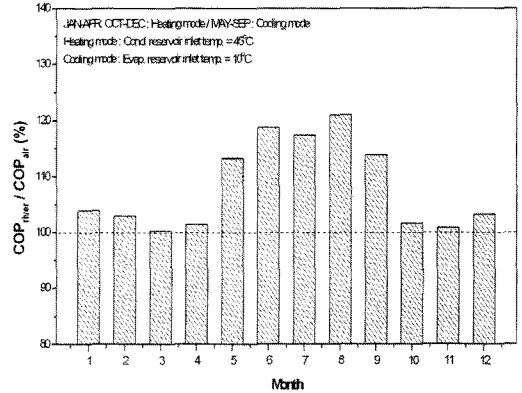


Fig. 5 Variation of COP ratio with monthly average temperature in Seoul.

려감에 따라 압축비가 커지고 냉매유량이 현격하게 줄어들게 되므로 성능은 Fig. 5에서 나타나는 것 보다 더 작아질 것으로 예상된다. 시뮬레이션 결과를 통하여 공기열원 열펌프가 냉방운전에서는 효율이 부족하고, 난방운전에서는 용량이 부족한 단점이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3. 열펌프의 경제성 평가

본 연구에서는 공기열원과 하천수열원을 사용하는 열펌프 사이클의 성능 결과를 바탕으로 각 열원을 이용하는 열펌프의 경제성 평가를 수행하였다. 공기열원 열펌프의 경우에는 동절기에 난방성능이 매우 저하되는 단점이 있기 때문에 일반적으로 많이 사용되고 있는 LNG 보일러를 적용하였고, 공기열원 열펌프는 하절기에만 사용하는 것으로 가정하였다.

경제성평가의 방법⁽⁸⁾으로는 생애주기법과 투자회수기간법을 사용하였는데, 생애주기법은 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기처분의 각 단계에서 생기는 비용을 합한 총비용을 계산하는 방법이며, 투자회수기간법은 대안의 투자로 인해 예상되는 편익이 투자된 금액까지 도달하는데 필요한 시간을 구하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 생애주기법을 통해 각 열펌프의 설치 및 운전에 필요한 총 소요비용을 구하고, 이 결과를 바탕으로 투자회수기간법을 통해 하천수열원의 투자회수기간을 산정하였다.

본 연구에서는 생애주기법을 적용하기 위해서 현재 가치법을 사용하였고, 이는 수명주기에 발생하는

모든 투자비용과 절감액을 일정한 시점을 기준으로 등가환산하는 방법을 말한다. 현재가치법에 사용되는 현재가치(PV)는 식(1)과 같이 초기비용(A₀)과 현재가치계수(PWAF)의 곱으로 나타나는데, 여기서의 현재가치계수는 식(2)의 임의의 이자율로 일정기간 동안 정기적인 할부금액이 적립될 때의 현재금액을 구하기 위해 사용하는 계수를 의미한다.

$$PV = A_0 \cdot PWAF \quad (1)$$

$$PWAF = \frac{(1 + DR)^n - 1}{DR(1 + DR)^n} \quad (2)$$

Table 1과 Table 2는 각각 경제성평가에 사용되는 계절별 전기요금과 LNG 가스요금을 나타내었고, 전기는 (주)한국전력공사의 2007년 4월 고시요금을, LNG는 (주)한국가스공사의 2007년 11월 고시요금을 참고하였다.

본 연구에서는 경제성평가를 위하여, 3RT, 10RT, 30RT 급의 대상건물을 가정하였고, 각각의 규모

에 맞는 초기투자비를 선정하였다. 초기투자비는 크게 공사비와 냉난방 설비 구입비로 구성되어 있으며, 기본적인 물가지표는 (사)한국물가정보(KPI)의 고시 데이터를 참고하였다. 공사비용은 각 업체들의 계약조건에 따라 가격이 많이 달라지기 때문에 관련업체의 자문을 받아 결정하였다.

하천수열원 열펌프의 경우, 인접한 강까지의 거리에 따라서 공사비용이 달라지기 때문에 본 연구에서는 강과의 거리를 100m로 가정하였고, 매설 파이프의 종류는 PVC관으로 선정하였다. 열펌프는 대상건물의 용량에 맞는 상용 열펌프의 가격을 기준으로 물-냉매 열교환기의 가격을 추가하여 개략적으로 산정하였다.

공기열원 열펌프의 경우에는 공사비용이 크게 산정되지 않기 때문에, 기본적인 설치비용을 기준으로 하였고, 냉방용 열펌프는 대상건물의 용량에 맞는 상용 열펌프를 기준으로 하였다. 난방에 사용되는 LNG 보일러 또한 대상건물의 용량에 맞도록 선정하였다.

각 시스템의 자세한 용량별 초기투자비는 Table 3에 나타내었고, 각 열펌프의 성능데이터와 전기요금, LNG 가스요금을 바탕으로 일일 8시간 사용 기준으로 계절별 전력요금을 고려하여 연간 운전비용을 Table 4와 같이 산정하였다. LNG 보일러의 효율은 한국에너지기술연구원의 보고서에서 제시한 82%로 가정하였다.⁽⁹⁾

Table 4는 각 시스템에 대한 초기 운전비용을 나

Table 1 Specification of the electricity cost

Classification	Base rate (won/kW)	Cost (won/kWh)		
		Summer	Spring/Fall	Winter
High volt. A Choice 2	6,300	87	56.5	62.9

Table 2 Specification of the LNG cost

Classification	Caloric value (kcal/m ³)	Cost (won/m ³)
Charge (Heating)	10,500	613.73

Table 3 Initial cost of the systems

Items	Capacity	River water source HP	Conventional system
Initial cost (won)	3 RT	9,901,400	4,190,000
	10 RT	16,761,400	9,082,000
	30 RT	24,261,400	13,904,000

Table 4 Operation cost of the systems

Items	System	Mode	Capacity		
			3 RT	10 RT	30 RT
Operation cost (won)	River water source HP	Cooling	344,781	1,137,777	3,447,810
		Heating	645,731	2,130,914	6,457,314
	Air source HP + LNG Boiler	Cooling	393,327	1,297,979	3,933,270
		Heating	1,350,195	4,296,075	12,888,225

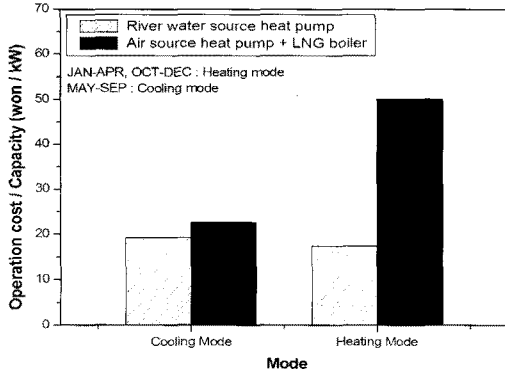


Fig. 6 Comparison of the operation cost per capacity between the systems.

타낸 것이며, 향후 사용될 운전비용은 물가상승률과 할인율을 등을 감안하여 생애운전비용 산정시에 계산하였다. LNG 가스의 연료비가 높기 때문에 난방의 경우에 하천수열원의 운전비용이 매우 절감되는 것을 확인할 수 있으며, 냉방의 경우에도 공기열원 열펌프보다 하천수열원 열펌프의 운전비용이 절감되는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 각 시스템이 단위 냉난방용량에 대한 하절기와 동절기의 평균 운전비용을 나타낸다. 공기열원 열펌프와 LNG 보일러의 경우가 하천수열원을 사용하는 열펌프에 비하여 운전비용이 비싼 것을 확인할 수 있다. 특히, 난방운전의 경우에는 단위열량 당 LNG 가스의 가격이 전기보다 2 배 이상 비싸기 때문에 운전비용에서 큰 차이가 발생하므로 이러한 영향이 경제성 평가에 중요한 변수로 작용하였다.

각 시스템에 대한 생애주기비용을 환산하기 위

Table 5 Basic factor of the LCC analysis

Items	River water source HP	Conventional system
Useful life(year)	10	10
Discount rate(%)	5	5
Interest rate(%)	2.5	-
Escalation of energy rate(%)	2 (Electricity)	8 (LNG)

해서 열펌프와 보일러의 가용연수를 10년으로 설정하였고, 유지보수 비용은 초기투자비용의 2%로 가정하였다. 할인율은 은행 예금이자율 기준으로 5%로 설정하였으며, 하천수열원 열펌프를 설치한 경우 에너지 절약사업의 일환으로 정부에서 에너지합리화자금을 지원하는 것으로 하여 정부 대출이자율 2.5%로 설정하였다. 전기와 LNG의 요금상승률은 (사)한국물가정보를 바탕으로 각각 2%와 8%로 설정하였고, 이러한 경제성 평가의 기준요소를 정리하여 Table 5에 나타내었다. 또한, 이러한 조건에서 생애주기법을 이용한 경제성 평가 결과를 세부항목별로 Table 6에 나타내었다. 3RT의 경우 하천수열원 열펌프의 경우 초기투자비용과 생애운전비용이 거의 비슷한 것을 확인할 수 있으며, 공기열원 열펌프와 LNG 보일러를 적용한 일반적인 시스템은 생애운전비용이 초기투자비에 비하여 높게 나타났다. 대상건물의 용량이 30RT로 커짐에 따라 모든 대안에서 생애운전비용의 비중이 매우 커지는 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 생애운전비용이 전체 생애주기비용에서 차지하는 비중을 나타내는데, 대상건물의 용량이 커

Table 6 Results of the LCC analysis

Case	Items	3 RT	10 RT	30 RT	
River water source HP	Life initial cost (won)	8,693,137	14,716,014	22,300,792	
	Life operation cost (won)	Cooling	2,949,901	9,734,672	29,499,006
		Heating	5,524,792	18,231,815	55,247,925
	Life maintenance cost (won)	1,529,120	2,588,542	3,746,802	
Conventional system	Life initial cost (won)	4,190,000	9,082,000	13,904,000	
	Life operation cost (won)	Cooling	3,365,254	11,105,338	33,652,538
		Heating	11,552,090	36,756,650	110,269,949
	Life maintenance cost (won)	647,081	1,402,576	2,147,260	

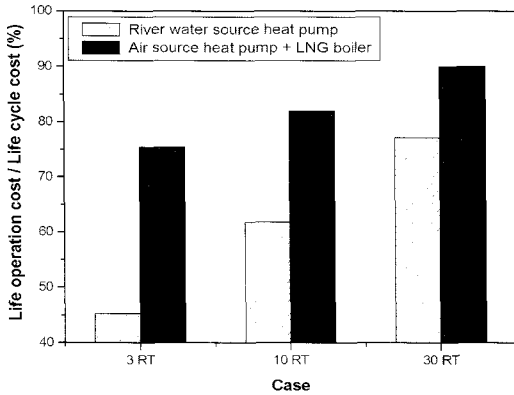


Fig. 7 Comparison of the life operation cost with the life cycle cost.

질수록 생애운전비용은 점점 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, 공기열원 열펌프와 LNG 보일러의 경우는 하천수열원을 사용하는 열펌프에 비하여 초기투자비용은 작지만, 전기 및 가스요금 등을 포함하는 생애운전비용이 매우 큰 비중을 차지하였다.

Fig. 8은 대상건물의 용량에 따른 두 시스템의 생애주기비용 변화를 나타낸다. 이 때 생애주기비용이 작은 시스템이 효율가치가 높은 것으로 평가할 수 있다. 공기열원 열펌프와 LNG 보일러를 적용한 시스템은 3 RT급 대상건물의 경우에는 생애주기비용이 하천수열원 열펌프와 큰 차이를 나타내지 않지만, 30 RT와 같은 대용량 건물의 경우에는 효율성이 많이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

생애주기법을 통하여 공기열원 열펌프와 LNG 보일러에 대한 하천수열원 열펌프의 효율가치가 검증되었지만, 초기투자비를 회수하는 기간이 합리

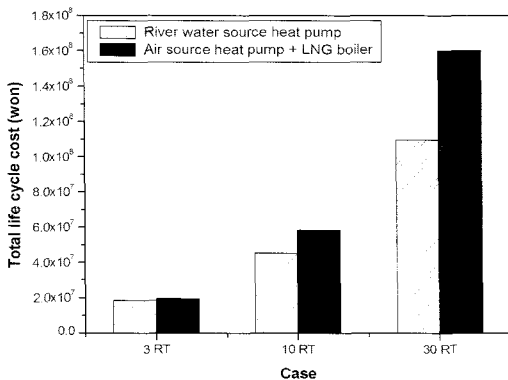


Fig. 8 Comparison of the total life cycle cost.

적이지 않다면 경제적인 이득이 많이 감소된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 투자회수기간법을 이용한 경제성평가를 통해서 하천수열원을 설치하기 위해 투자된 금액을 회수할 수 있는 기간을 산정하였다. 일반적으로 사용되는 장치를 대신하여 새로운 대안이 되는 장치를 설치하는 경우의 투자회수기간은 식(3)과 같이 계산하였다.

$$PP = \frac{IC_{alter} - IC_{conv}}{OP_{conv} - OP_{alter}} \quad (3)$$

Fig. 9는 투자회수기간법을 통하여 산정한 하천수열원 열펌프의 초기투자비 회수기간을 나타내고 있다. 3 RT급 소형시스템에서는 공기열원 열펌프와 하천수열원 열펌프의 운전비용 차이가 크지 않기 때문에 투자회수기간이 7.6년으로 산정되었다. 통상적으로 초기투자비가 4년에서 6년안에 회수되어야 경제적인 이득이 있는 것으로 인정되기 때문에 투자회수기간법의 관점에서는 하천수열원 열펌프의 효율성이 다소 부족한 것으로 판단된다. 10 RT급 이상의 대상건물에서는 하천수열원 열펌프의 투자회수기간이 3.5년 이내 계산되었고, 통상적인 관점에서 이 기간은 합리적인 것으로 판단되므로 공기열원 열펌프와 LNG 보일러를 설치하는 것에 비하여 경제적인 것으로 판단된다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 대상건물의 규모가 커질수록 지리적인 요건이 뒷받침된다면 미활용에너지인 하천수를 이용한 열펌프 시스템의 장점이 극대화된다고 할 수 있다.

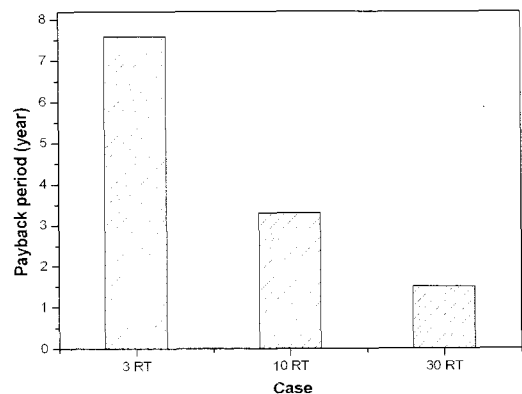


Fig. 9 Payback period of a river water heat pump system.

4. 결 론

본 연구에서는 하천수열원 이용 열펌프 시스템의 성능특성을 시뮬레이션을 통하여 공기열원과 LNG 보일러를 사용하는 일반시스템과 비교하였고, 경제성 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공기열원에 비하여 연중 일정한 온도변화 특성을 갖는 하천수 열원 열펌프시스템의 용량과 성능이 각각 최대 15%와 21% 우수한 특성을 나타내었다.

(2) 생애주기방법에 의한 경제성 분석을 한 결과 건물의 용량이 클수록 생애주기비용에 대한 생애운전비용의 비율이 크게 나타났다.

(3) 투자회수기간법을 통하여 일반시스템과 비교하여 경제성 분석을 한 결과 10 RT급 이상의 건물에서 하천수 열원 열펌프시스템의 투자회수기간이 3.5년 이내로 효용성이 있는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2008년도 한국에너지기술평가원의 연구비(2008NBLHME090000) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Lian, Z., Park, S. and Qi, H., 2005, Analysis on energy consumption of water loop heat pump system in china, Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 73-85.
- Chen, C., Sun, F., Feng, L. and Liu, M., 2005, Underground water source loop heat pump air conditioning system applied in a residential building in Beijing, Applied Energy, Vol. 82, pp. 331-344.
- Okamoto, S., 2006, A heat pump system with a latent heat storage utilizing sea water installed in an aquarium, Energy and Building, Vol. 38, pp. 121-128.
- Park, C. S., Kim, B. H., Kim, Y. C., Lee, Y., S. and Bang, G. Y., 2005, Simulation on the heating performance of a 2-stage compression heat pump system using river water, SAREK, Vol. 11, pp. 1005-1013.
- Jung, T. H., Park, C. S. and Kim, Y. C., 2008, Simulation on the optimal performance and effective operating range of a 2-stage compression heat pump using river water, SAREK, Vol. 20, pp. 295-303.
- Fisher, S. K. and Rice, C. K., 1983, The Oak Ridge heat pump models : A steady state computer design model for air to air heat pumps, ORNL/CON-80/RI, Energy Division.
- Park, J. T. and Lee, J. H., 1999, The possibility of temperature difference energy utilization as the heat source of heat pump, Proceedings of SAREK 1999 Summer Conference, pp. 254-258.
- Mearig, T., Coffee, N. and Morgan, M., 1999, Life cycle cost analysis handbook, Alaska Department of Education and Early Development, 1st edition.
- Lee, Y. S., 2008, Development of the optimization technology for network plant using unutilized energy resources, KIER Report, pp. 387-402.