

# 열원에 따른 열펌프의 성능 비교 및 경제성 평가

박차식<sup>†</sup>, 박경우\*, 권오경\*\*

호서대학교 자동차공학과, \*호서대학교 기계공학과, \*\*한국생산기술연구원 에너지설비센터

## Performance Characteristics and Economic Assessment of Heat Pump Systems with the Various Heat Source

Chasik Park<sup>†</sup>, Kyoungwoo Park\*, Oh-Kyung Kwon\*\*

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

*\*Department of Mechanical Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea*

*\*\*Energy System Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Cheonan 330-825, Korea*

*(Received Apr 29, 2011; revision received)*

### Abstract

The objectives of this study are to analyze the performance of a heat pump system with the various heat source and to carry out economic assessment for the heat pump system. The COP of the river water and ground source heat pump system was 20% higher than that of the air source heat pump system because river water and geothermal provide stable operating temperature compared with air temperature throughout the year. In addition, the economic assessment of a heat pump system using air, river water, and geothermal as a heat source was carried out. 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 3.3 and 4.5 years, respectively when the capacity of the river water and ground source heat pump was larger than 10 RT.

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

### 기 호 설 명

DR : 할인율 [%]  
HEX : 열교환기(heat exchanger)  
IC : 초기투자비 [원]  
OP : 운전비 [원]  
PP : 투자회수기간 [년]

PV : 현존가치 [원]

PWAF : 연금현재가계수

### 하 첨 자

*alter* : 대안 시스템

*conv* : 기존 시스템

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel : +82-41-540-5815, Fax: +82-41-540-5818

E-mail: cspark@hoseo.edu

접수일 : 2011년 5월 3일

심사일 : 2011년 5월 12일

채택일 : 2011년 5월 23일

### 1. 서 론

최근에 고유가와 환경문제로 인해 에너지의 효율적인 이용과 고효율 에너지기기에 대한 연구가

활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 다양한 열원을 적용하여 저급의 에너지를 냉난방이나 급탕 등의 고급에너지로 변환시키는 열펌프시스템은 대표적인 고효율 에너지 기기이다. 열펌프를 이용하여 얻어지는 에너지효율은 결국 열원측에서 얻을 수 있는 열원의 온도에 따라 결정되는데 주로 공기, 수열, 그리고 지열 등의 열원이 적용되고 있다. 공기열원방식은 대기중의 공기와 열교환을 하여 열을 방출 또는 흡수하는 방식이다. 공기를 열원으로 하는 경우 열원 확보가 용이하고 안정성이 우수한 반면 외기 온도가 저하되면 성능이 낮아지는 단점이 있다. 특히 동절기 난방운전시에는 실외 기층에 착상의 문제가 발생하여 성능이 크게 저하될 수가 있어 전기히터 등의 보조 열원을 필요로 한다. 하천수나 해수 등의 수열원인 경우에는 공기열원방식에 비하여 연중 안정적인 열원을 확보할 수 있는 장점이 있다. 하지만 냉난방의 수요지가 수열원의 근처에 위치하여야 열원의 공급계통에 소요되는 에너지를 절약하며 경제적인 운전을 할 수 있다. 또한 수열원의 고갈 및 수열원의 오염 등의 문제를 고려하여 시스템을 설계하여야 한다. 지열의 경우에는 연간 온도변화폭이 매우 작으므로 추운지방이나 더운지방에서 히트펌프의 성능 및 용량을 효과적으로 향상시킬 수 있는 열원이다. 그러나 지열을 회수하기 위한 지열루프의 설치시 공간의 제약과 초기 설비비에 문제에 대한 제약이 있어 설치 전에 반드시 경제성 평가를 필요로 한다.

열펌프의 열원 변화에 따른 연구는 다양하게 수행되었는데 백 등<sup>[1]</sup>은 해수를 열원으로 사용한 열펌프에 대한 연구를 통하여 공기열원 열펌프에 비하여 에너지가 34% 만큼 절약되고, 이산화탄소와 산화질소의 발생량도 각각 68%와 75% 만큼 감소한다고 보고하였다. Chen et al.<sup>[2]</sup>은 중국 베이징의 고층 아파트에 지하수 열원을 사용하는 열펌프 시스템을 적용하여 2년간 그 성능을 측정하였고, 지하수 열원 열펌프가 공기열원 열펌프, 전기 보일러보다 냉방과 난방운전시 각각 20%와 40%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 보고하였다. Okamoto<sup>[3]</sup>는 아쿠아리움에 설치된 해수 열원 열펌프에 대한 연구를 통하여 공기열원 열펌프 및 흡수식 냉동장치와 성능을 비교하였는데, 각각의 경우에서 해수열원 열펌프가 약 19%, 42% 만

큼 실제 운전비용이 절약되는 것을 확인하였다. 손 등<sup>[4]</sup>은 단독주택용 지열 열펌프 시스템 적용에 대한 경제성을 평가하였고 이산화탄소 배출량에 대한 저감 가능성을 분석하였다. 본 연구를 통하여 현행 주택용 전기요금 체계를 적용할 경우 단독주택용 지열 열펌프 시스템의 가격 경쟁력은 다소 떨어지고, 일반 전기요금을 적용할 경우 지열 열펌프 시스템의 단독주택 적용 가능성은 충분한 것으로 나타났다. Tarnawski et al.<sup>[5]</sup>은 200 m<sup>2</sup> 규모의 주거용 건물에 지열 열펌프를 적용한 결과 일본의 높은 전기요금율에도 불구하고 기름 보일러나 전기히터보다 연간운전비, 기기효율적 측면에서 보다 우수한 성능을 나타내었다.

본 연구에서는 열원에 따른 열펌프의 성능을 비교하였고 열원에 따른 각 시스템의 초기투자비와 연간운전비를 산정하여 경제성 평가 결과를 비교하였다.

## 2. 열원에 따른 열펌프 특성 및 성능 분석

### 2.1 열원에 따른 열펌프 특성

본 연구에서는 일반적인 냉동사이클의 성능을 평가하는 대표적인 프로그램인 ORNL<sup>[6]</sup>의 모델링 방법에 기초하여 부하변동에 따른 사이클 시뮬레이션 실시하였다. 모델링에 대한 자세한 내용은 박 등<sup>[7]</sup>의 논문에 제시하였다.

Fig. 1은 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 가장 낮은 것으로 해석되었다. 본 연구에서는 동절기의 착상현상에 따른 공기열원 열펌프의 성능저하에 대한 영향을 고려하지 않았기 때문에 Fig. 2에서 보여지는 공기열원 열펌프의 동절기 성능 변화는 열원온도 변화에 따른 최대 성능을 제시한 것이라고 할 수 있으며, 실제의 열펌프 성능은 다른 성능저하 요인들에 의하여 이보다 낮아질 것으로 판단된다.

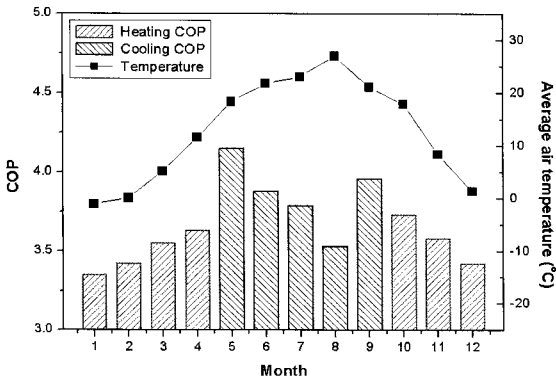


Fig. 1 Variation of the monthly average COP and temperature for the air source heat pump.

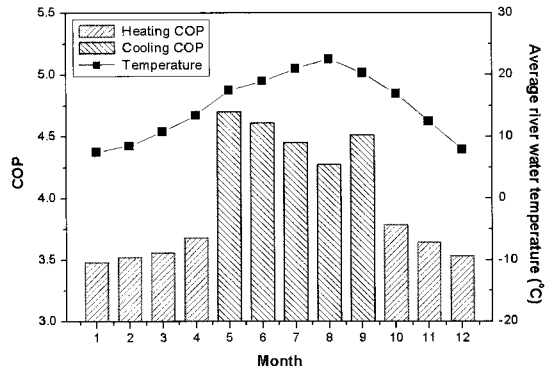


Fig. 2 Variation of the monthly average COP and temperature for the river water source heat pump.

Fig. 2는 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. 냉방운전시에는 8월에 COP가 4.27로 가장 낮게 나타났지만 공기열원 열펌프와 비교하여 21% 높게 성능이 나타났다. 난방운전의 경우는 1월에 3.48로 가장 낮게 나타났다.

지열원 열펌프 시스템의 성능해석을 위하여 서울지역의 월평균 지중온도<sup>[8]</sup>를 기준으로 연면적 331 m<sup>2</sup>의 건물에 냉방용량 10RT급 수직형 지열원 열펌프 시스템을 구성하였다. 지열원 열펌프의 경우 지중과 열교환을 하고 돌아오는 순환수의 출구온도가 응축기 또는 증발기의 열원측 입구온도가 되기 때문에 미국 에너지국(D.O.E)에서 제공하는 Energy Plus 프로그램<sup>[9]</sup>을 이용하여 Table 1의 설계사양을 기준으로 순환수 출구온도

를 구하였다. Fig. 3은 서울지역의 평균 지중온도와 지열원 열교환기 순환수 출구온도의 변화를 나타낸 것인데, 동절기에는 순환수가 지중으로부터 열을 흡수하고, 하절기에는 열을 방출하기 때문에 이러한 결과를 확인할 수 있었다. 이러한 지중순환수 출구온도를 기준으로 지열열펌프의 월별 COP 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 냉방과 난방의 COP 변화가 연중 안정적으로 나타났고, 특히 난방에 있어서 하천수열원 열펌프에 비교하여 안정적으로 나타나는 특성을 보였다.

## 2.2 열펌프의 성능 비교

본 연구에서는 공기열원 열펌프를 기준으로 하여 하천수열원과 지열원 열펌프의 성능을 비교하였다. Fig. 5는 열원에 따른 냉난방 용량을 공기

Table 1. Specification of the ground HEX

Items	Specifications
Type	Vertical
No. of Boreholes	8
Borehole length	75 m
Pipe diameter	0.0267 m
Conductivity	1.94 W/mK
Flow rate of water	0.6 kg/s

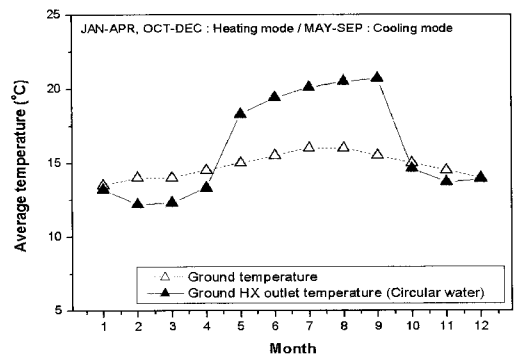


Fig. 3 Variation of the monthly average ground and circular water outlet temperature for the ground source heat pump.

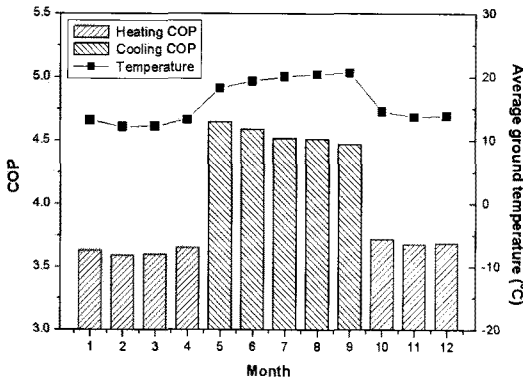


Fig. 4 Variation of the monthly average COP and temperature for the ground source heat pump.

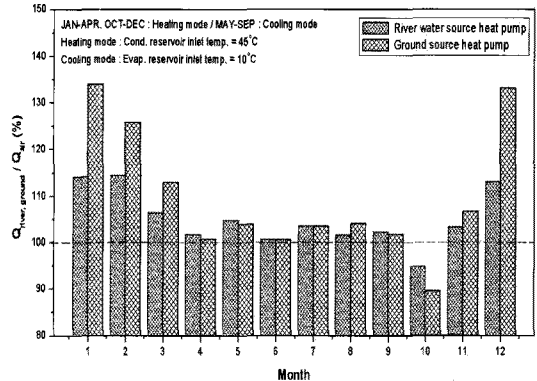


Fig. 5 Variation of capacity ratio with monthly average temperature in Seoul.

열원 열펌프에 대한 하천수열원, 지열원 열펌프의 비를 나타낸 것이다. 하절기에는 냉방용량의 차이가 크게 나타나지 않았지만 동절기에는 세 열원의 차이가 두드러지게 나타났다. 10월을 제외하고는 연중 공기열원의 냉난방 용량이 가장 작았고, 특히 외기온도가 매우 낮은 1월, 2월에는 다른 열원들에 비하여 현저하게 난방용량이 떨어지는 것으로 나타났다. 하천수열원과 지열원 열펌프는 연중 월평균 온도변화량이 크지 않아서 냉방과 난방운전 모두에서 우수한 용량을 보였으며, 특히 지열원 열펌프는 냉난방용량의 연중 변동폭이 가장 작고 평균값도 가장 큰 것으로 나타났다.

Fig. 6은 열원에 따른 COP 변화를 나타낸다. 모든 경우에서 하천수열원과 지열원 열펌프의 효율이 공기열원 열펌프보다 우수한 것으로 나타났다. 특히, 공기열원 열펌프는 동절기보다 하절기의 COP 저하가 두드러지게 나타났는데, 이것은 외기온도가 매우 높게 올라감에 따라 압축비가 커져서 소비동력이 그만큼 증가하였기 때문이다. 또한, 동절기의 경우에도 착상에 대한 영향을 고려한다면 외기온도가 내려감에 따라 압축비가 커지고 냉매 유량이 현격하게 줄어들게 되므로 COP는 더욱 낮아질 것으로 예상된다. 하천수열원과 지열원은 모든 운전조건에서 비슷한 효율을 나타내었다.

### 3. 경제성 평가 결과

본 연구에서는 공기열원과 하천수열원, 지열원

을 사용하는 열펌프 사이클의 냉난방 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, 따라서 공기열원 열펌프는 하절기에만 사용하는 것으로 가정되었다.

경제성평가의 방법<sup>[10]</sup>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

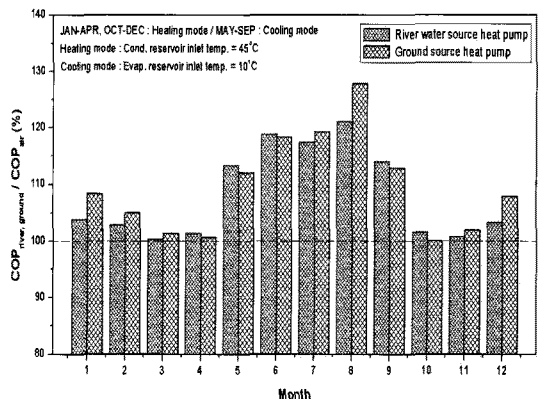


Fig. 6 Variation of COP ratio with monthly average temperature in Seoul.

생애주기법을 통해 각 열펌프의 설치 및 운전에 필요한 총 소요비용을 구하고, 이 결과를 바탕으로 투자회수기간법을 통해 하천수열원의 투자회수기간을 산정하였다.

본 연구에서는 생애주기법을 적용하기 위해서 현재가치법을 사용하였고, 이는 수명주기에 발생하는 모든 투자비용과 절감액을 일정한 시점을 기준으로 등가환산하는 방법을 말한다. 현재가치법에 사용되는 현재가치(PV)는 식 (1)과 같이 초기비용( $A_0$ )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 2는 각각 경제성평가에 사용되는 계절별 전기요금과 LNG 가스요금을 나타내었고, 전기는 (주)한국전력공사의 2007년 4월 고시요금을, LNG는 (주)한국가스공사의 2007년 11월 고시요금을 참고하였다.

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 <sup>3</sup> )	Cost (won/m <sup>3</sup> )
Charge (Heating)	10,500	613.73

본 연구에서는 경제성평가를 위하여 3RT, 10RT, 30RT 급의 대상건물을 가정하였고, 각각의 규모에 맞는 초기투자비를 선정하였다. 초기투

자비는 크게 공사비와 냉난방 설비 구입비로 구성되어 있으며, 기본적인 물가지표는 (사)한국물가정보(KPI)의 고시 데이터를 참고하였다. 공사비용에 관한 부분은 각 업체들이 계약을 하기에 따라서 가격이 많이 달라지기 때문에, 관계자의 자문을 받아 결정하였다.

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. 하천수열원 열펌프의 경우, 인접한 강까지의 거리에 따라서 공사비용이 달라지기 때문에, 본 연구에서는 강과의 거리를 100 m로 가정하였고, 매설파이프의 종류는 PVC관으로 선정하였다. 열펌프는 대상건물의 용량에 맞는 상용 열펌프의 가격을 기준으로 물-냉매 열교환기의 가격을 추가하여 개략적으로 산정하였다. 지열원 열펌프의 경우는 보어홀(Borehole)의 개수와 깊이 등에 따라서 가격이 달라지므로 대상건물의 용량에 맞게 보어홀의 개수를 조절하였고, 깊이는 75 m로 가정하였다. 지중으로 매설되는 파이프의 종류는 일반적인 지중열교환기에서 많이 사용하는 HDPE관으로 결정하였다. 비교시스템으로 공기열원 열펌프의 경우에는 공사비용이 크게 산정되지 않기 때문에 기본적인 설치비용을 기준으로 하였고 난방에 사용되는 보일러 또한 대상건물의 용량에 맞도록 선정하였다.

각 시스템의 자세한 용량별 초기투자비는 Table 3에 나타내었고, 각 열펌프의 성능데이터와 전기요금, LNG 가스요금을 바탕으로 운전비용을 Table 4와 같이 산정하였다.

Table 4는 각 시스템에 대한 초기 운전비용을 나타낸 것이며, 향후 사용될 운전비용은 물가상승률과 할인율 등을 감안하여 산정하였다. LNG 가스의 연료비가 높기 때문에, 난방의 경우에 하천수열원의 운전비용이 매우 절감되는 것을 확인할 수 있으며, 냉방의 경우에도 공기열원 열펌프보다 하천수열원 열펌프의 운전비용이 절약되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 각 시스템이 단위 냉난방용량에 대한 하절기와 동절기의 평균 운전비용을 나타낸다. 한

Table 3. Initial cost of the systems

Items	Capacity	River water source heat pump	Ground source heat pump	Conventional system
Initial cost (Won)	3 RT	9,901,400	9,397,200	4,190,000
	10 RT	16,761,400	19,635,800	9,082,000
	30 RT	24,261,400	29,514,400	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 heat pump	Cooling	344,781	1,137,777	3,447,810
		Heating	645,731	2,130,914	6,457,314
	Ground source heat pump	Cooling	341,749	1,127,770	3,417,486
		Heating	636,384	2,100,067	6,363,840
	Conventional system	Cooling	393,327	1,297,979	3,933,270
		Heating	1,350,195	4,296,075	12,888,225

천수열원과 지열원 열펌프의 경우에는 단위용량 당 운전비용이 냉난방 모두에서 비슷하지만, 공기 열원 열펌프와 LNG 보일러의 경우가 하천수 열원을 사용하는 열펌프에 비하여 운전비용이 비싼 것을 확인할 수 있다. 특히, 난방운전의 경우에는 단위열량 당 LNG 가스의 가격이 전기보다 2배 이상 비싸기 때문에 운전비용에서 큰 차이가 발생하므로 이러한 영향이 경제성 평가에 중요한 변수로 작용하였다.

각 시스템에 대한 생애주기비용을 환산하기 위해서 열펌프와 보일러의 가용연수를 10년으로 설정하였고, 유지보수 비용은 초기투자비용의 2%로 가정하였다. 할인율은 은행 예금이자율 기준으로 5%로 설정하였으며, 에너지 절약사업의 일환으로 정부에서 에너지합리화자금을 사용하는 것으로 하여 정부 대출이자율 2.5%로 설정하였다. 전기와 LNG의 요금 상승률은 (사)한국물가정보를 바탕으로 각각 2%와 8%로 설정하였고, 이러한 경제성 평가의 기준요소를 정리하여 Table 5에 나타내었다. 또한, 이러한 조건에서 생애주기법을 이용한 경제성 평가결과를 세부항목별로 대상건물의 용량에 따라 Table 6에 나타내었다.

Fig. 8은 생애운전비용이 전체 생애주기비용에서 차지하는 비중을 나타내었다. 대상건물의 용량

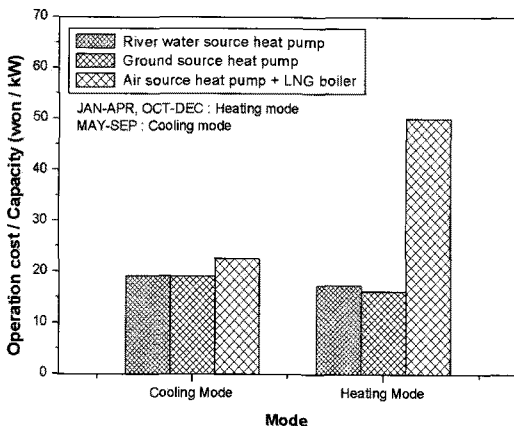


Fig. 7 Comparison of the operation cost per capacity with the three systems.

Table 5. Basic factor of the LCC analysis

Items	River water/Ground 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)

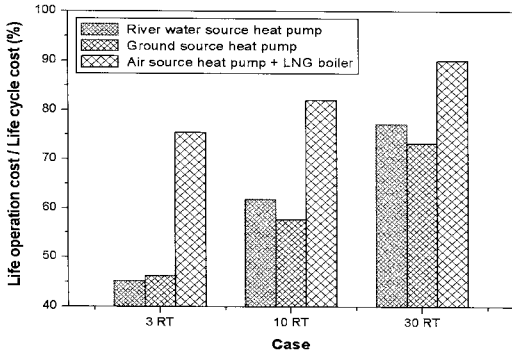


Fig. 8 Comparison of the life operation cost with the life cycle cost.

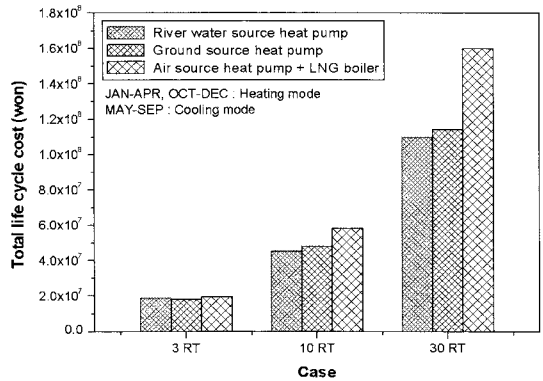


Fig. 9 Comparison of the total life cycle cost.

이 커질수록 생애운전비용은 점점 증가하였다. 이 때 지열원 열펌프의 생애운전비용 비중이 하천수 열원 열펌프보다 더디게 증가하는 것은 대상건물의 용량이 커질수록 그만큼 초기투자비용이 많이 필요하다는 것을 의미하며, 공기열원 열펌프와 LNG 보일러의 경우는 다른 열원을 사용하는 열 펌프에 비하여 초기투자비용은 작지만, 전기 및 가스요금 등의 생애운전비용이 매우 큰 것을 의미한다.

Fig. 9는 대상건물의 용량에 따른 각 시스템의 생애주기비용 변화를 나타낸다. 이 때 생애주기비용이 작은 시스템이 효용가치가 높은 것으로 평가할 수 있다. 하천수열원과 지열원 열펌프를 살

펴보면, 대상건물의 용량이 증가할수록 지열원 열 펌프의 생애주기비용이 하천수열원 열펌프보다 점점 커지는 것을 확인할 수 있는데, 여기에는 공사비용이 미치는 영향이 크게 작용하였다고 할 수 있다. 하천수열원 열펌프의 경우 하천수와 의 거리가 일정할 때 대상건물의 용량변화에 따른 공사비가 크게 증가하지 않지만, 지열원 열펌프의 경우에는 대상건물의 용량이 증가하면 유압형 시추기를 통해 뚫어야 하는 보어홀의 개수가 늘어나기 때문에 그만큼 공사비가 크게 증가하게 된다. 3 RT급 대상건물을 기준으로 하천수열원과 지열원 열펌프의 공사비가 처음에는 비슷하지만, 용량이 커질수록 지열원 열펌프의 공사비가 크게

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)	8,250,464	17,239,652	25,912,771	
	Life operation cost (won)	Cooling	2,923,956	9,649,055	29,239,560
		Heating	5,444,817	17,967,896	54,448,170
	Life maintenance cost (won)	1,454,254	3,032,449	4,558,047	
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	

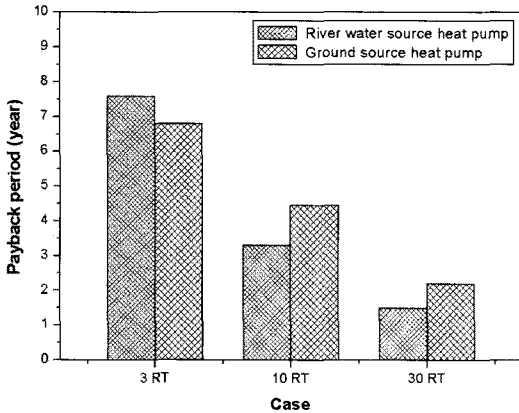


Fig. 10 Comparison of the payback period between river water and ground source heat pump.

증가하는 것도 이러한 영향이 반영되었다고 할 수 있다. 한편, 공기열원 열펌프와 LNG 보일러를 적용한 시스템과 다른 두 경우를 비교하면 3 RT 급 대상건물의 경우에는 생애주기비용이 거의 비슷하지만, 용량이 커질수록 그 차이가 점점 커져서 30 RT와 같은 대용량 건물의 경우에는 효율성이 많이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

생애주기법을 통하여 공기열원 열펌프와 LNG 보일러에 대한 하천수열원 및 지열원 열펌프의 효율가치가 검증되었지만, 초기투자비를 회수하는 기간이 합리적이지 않다면 경제적인 이득이 많이 감소된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 투자회수기간법을 이용한 경제성 평가를 통해서 하천수열원과 지열원 열펌프를 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. 10은 투자회수기간법을 통하여 산정한 하천수열원과 지열원 열펌프의 초기투자비 회수기간을 나타내고 있다. 3 RT급 소형시스템에서는 공기열원 열펌프와 하천수열원, 지열원 열펌프의 운전비용 차이가 크지 않기 때문에 투자회수기간이 각각 7.6년과 6.8년으로 산정되었다. 통상적으

로 초기투자비가 4년에서 6년안에 회수되어야 경제적인 이득이 있는 것으로 인정되기 때문에 투자회수기간법의 관점에서는 하천수열원 열펌프의 효율성이 다소 부족한 것으로 판단된다. 10 RT급 이상의 대상건물에서는 하천수열원과 지열원 열펌프의 투자회수기간이 각각 3.3년과 4.5년으로 계산되었고, 통상적인 관점에서 이 기간은 합리적인 것으로 판단되므로 공기열원 열펌프와 LNG 보일러를 설치하는 것에 비하여 경제적인 것으로 판단된다. 30 RT급 대형 시스템에서는 투자회수기간이 더 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 하천수열원과 지열원 열펌프의 투자회수기간은 각각 1.5년과 2.2년으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 열원에 따른 열펌프 시스템의 성능특성을 분석하였다. 이를 위하여 시뮬레이션을 통하여 공기열원과 LNG 보일러를 사용하는 기존의 시스템과 하천수열원 및 지열원을 이용하는 열펌프 시스템의 성능을 분석하고, 경제성 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공기열원에 비하여 연중 일정한 온도변화 특성을 갖는 하천수열원과 지열원 열펌프 시스템은 최대 20% 이상의 우수한 성능 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 하천수열원과 지열원 열펌프시스템의 투자회수기간이 각각 3.3년과 4.5년으로 나타내어 효율성이 있는 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 2010년도 한국에너지기술평가의 연구비(2010T100100850) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.



## 참고문헌

1. Baek, N. C., 2001, Development of off-peak electric water heater using heat pump, *Energy R&D*, Vol. 11, pp. 3-7.
2. Chen, C., Sun, F., Feng, L., 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.
3. 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.
4. Shon, B. H., Kang, S. H., Assessing the Economic and CO<sub>2</sub> Emission Reductions Viability of Domestic Ground-Source Heat Pumps, *Proceedings of the SAREK '09 Summer conference*, pp. 64-69, 2009.
5. Tarnawski, V. R., Leong, W. H., Momose, T., Hamada, Y., Analysis of ground source heat pumps with horizontal ground heat exchangers for northern Japan, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 127-134, 2009.
6. Fisher, S. K., Rice, C. K. 1983, The Oak Ridge heat pump models: A steady state computer design model for air to air heat pumps, *ORNL/CON80/RI*, Energy Division.
7. 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, *SAREK*, Vol. 11, pp. 621-628.
8. www.kma.go.kr
9. EnergyPlus engineering document, *US Department of Energy*, 2009.
10. Mearig, T., Coffee, N., Morgan, M., 1999, Life cycle cost analysis handbook, *Alaska Department of Education & Early Development*, 1st edition.