LCC 분석에 의한 하천수 미활용에너지 이용시스템의 경제성 평가

박 일 환†, 윤 형 기*, 장 기 창*, 박 준 택*, 박 성 룡*
한국기술교육대학교 기계정보공학부, *한국에너지기술연구원 미활용에너지연구센터

Life-Cycle Analysis of the River Water Unutilized Energy System

Il-Hwan Park†, Hyung-Kee Yoon*, Ki-Chang Chang*, Jun-Taek Park*, Seong-Ryong Park*
Department of Mechanical Engineering, Korea University of Technology & E., Cheonan 330-708, Korea
**Unutilized Energy Research Center, KIER, Daejeon 305-343, Korea*

(Received January 20, 2005; revision received May 10, 2005)

ABSTRACT: This paper presents the work on evaluating the LCC (Life-Cycle Cost) of a heat pump system as unutilized energy system. The river water as an unutilized energy source was used for the heat source of heat pump system. LCC analysis is a concrete method for evaluating the economical efficiency of energy facilities of building. The present case study shows an example of adequate use of the LCC analysis on a heat pump system and conventional gas boiler and refrigerator for building heat supply. A life cycle of 20 years was used to calculated net present value of energy cost. Over a 20 year life cycle, the energy cost could be reduced by 612 million won if a heat pump system were used instead of a conventional boiler and an absorption refrigerator.

Key words: Unutilized energy system(미활용에너지 이용시스템), Temperature difference energy(온도차에너지), River water(하천수), LCC analysis(생애주기 비용분석)

1. 서 론

미활용에너지는 "현재의 기술로서는 가격 경쟁력의 면에서 의심을 받아 상품화되지 못하고 이용이 지연되고 있는 에너지"라고 말할 수 있다. 미활용에너지의 활용에 있어서 이미 잘 알려진 바와 같이 온도, 장소, 시간의 3가지 미스매치(mismatch) 문제를 해결하기 위해서는 지역별 종합적 에너지 사용이 필수적이라고 생각되며, 적절한 시스템화 기술과 시스템 최적화 기술의 확립이 미활용에너지 이용시스템의 경제성을 제고할 수 있을 것으로 본다.

미활용에너지는 그 온도수준에 따라서 각각의 활용방법을 결정할 수밖에 없으므로 모든 미활용에너지에 대해 동일한 사고방식이나 동일 기준으로 부존량을 평가하는 것은 무리가 있다. 일반적으로 하천수, 하수, 해수 등과 같은 형태의 저온도 미활용에너지는 그 부존량의 산정이 모호하여 부득이 승온 기기인 열펌프의 열원으로 사용하는 경우에 온도차에너지로 평가하지 않을 수 없다.[1,2] 따라서 저온 미활용에너지의 시스템은 고온인 소각로 연소가스와 같은 미활용에너지와는 그 평가방법이 다르다고 할 수 있다.

미활용에너지의 활용방법에 있어서 고온 미활용에너지라면 온열원으로 직접 이용하거나, 흡수식 열펌프 및 냉동기의 구동원으로 활용할 수 있

† Corresponding author
Tel.: +82-41-560-1121; fax: +82-41-560-1253
E-mail address: hwan@kut.ac.kr

을 것이며, 저온의 미활용에너지는 압축식 열펌프 열원으로의 활용이 가장 유력하다. 열펌프로 승온한 열은 대량의 열공급이 필요한 대형 건물이나 지역 냉난방(DHC) 열원으로 공급하는 것을 하나의 방법으로 상정할 수 있으며 최근 이와 관련된 시스템 개발연구가 활발하다.[3]

한편 생애주기 비용분석(Life-cycle cost(LCC) Analysis) 방법을 이용한 시스템 최적화 및 경제성 평가에 대한 기존의 연구를 살펴보면 Choe 등에 의한 구의회 청사 및 구민회관의 설비시스템에 대한 최적화 방안에 대한 연구,[4] Joseph 등에 의한 호텔수영장에 적용하는 열펌프에 대한 LCC 분석,[5] 그리고 Oh 등에 의한 상온 에너지 수송용 흡수식 냉동기의 경제성 평가[6] 등의 연구가 있다.

본 연구에서는 하천수 온도차에너지를 열원으로 하는 열펌프 시스템을 이용하여 빌딩 냉난방용 냉온열을 공급하는 경우 종래의 보일러 및 흡수식 냉동기에 의한 열공급방법과 비교하여 이 시스템에 대한 LCC 분석을 통해 시스템 경제성을 평가함으로써 최소 LCC를 갖는 최적 시스템을 도출한다.

2. LCC 분석방법과 분석대상 시스템

2.1 단계별 LCC 분석방법

기존의 냉온열 공급방식과 비교하여 하천수 미활용에너지 이용시스템에 대한 경제성을 평가하여 도입 가능성을 검토하고, 시스템화 기술개발에 활용하기 위한 LCC 분석절차는 다음과 같다.

① 대안설정을 위한 목적물의 적용사례 및 경제관련 지표 등 자료조사, ② 최소 성능기준을 만족하는 대안설정, ③ 내구연수, 할인율, 이자율, 분석기준 등 설정, ④ 초기투자비, 운영관리비, 기타 비용 등 발생시기 결정, ⑤ 미래 발생비용을 현재가치로 환산, ⑥ 각 대안에 대한 유형별 비용을 종합하여 LCC 산정, 즉 LCC=(초기투자비 현재가)+(에너지비용 현재가)+(유지관리비용 현재가)−(처리비용 현재가), ⑦ 여러 대안 중 순익 최대인 최소 LCC 대안선정, ⑧ 대안선정에 간접적 영향을 미치는 요소에 대해 정성적 고려, ⑨ LCC 분석 결과의 보완을 위한 민감도 분석, ⑩ 순이익, 이익/투자비, 회수기간 등 지표산정, ⑪ LCC 분석 결과 최적 대안을 선택

Table 1 Building outline

Classification	Contents
Area of building site	20,845 py (68,788.5 m^2)
Area of total floor	26,080 py (86,064 m^2)
Stories	B1~2, F1~21

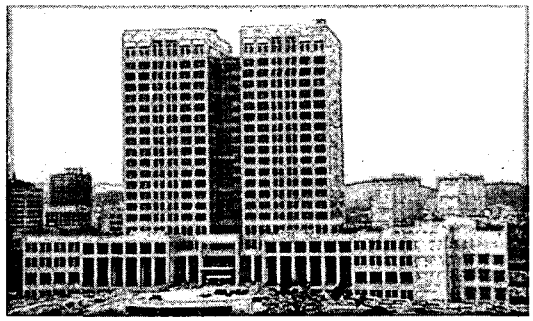

Fig. 1 Picture of the object building.

2.2. 하천수 미활용에너지 이용시스템 적용대상

본 연구에서 대상으로 하는 미활용에너지 이용시스템은 하천수를 열원으로 이용하는 냉온열 제조 열펌프 시스템을 지하 2층 지상 21층 규모의 D시 신청사를 대상으로 한다. 하천수 미활용에너지 이용시스템의 적용대상 건물개요를 Table 1에 표시하였다. 이 건물은 시청 본관동 22,035평과 시의회동 4,045평 등 총 26,080평의 공공건물로서 위치는 D시에 있으며, 하천으로부터 1 km 이내에 있는 것으로 본다. Fig. 1은 이 건물의 사진이다.

2.3. 기온과 하천수 미활용에너지

온도차에너지로서 열펌프 열원으로 이용되는 하천수의 수온은 열펌프 성능에 크게 영향을 미친

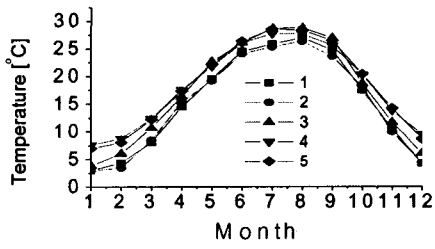

Fig. 2 Water temperature of K river.

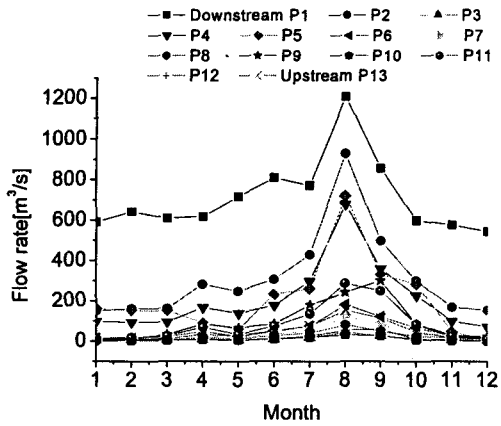

Fig. 3 Flow rate change of K river for a year.

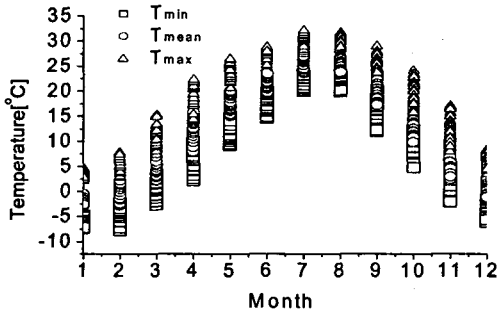

Fig. 4 Temperature fluctuation of D city area for a year.

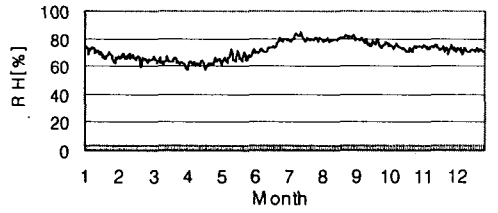

Fig. 5 Relative humidity fluctuation of D city area for a year.

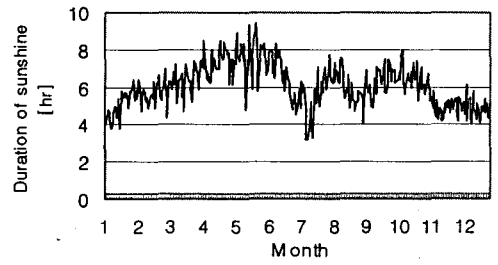

Fig. 6 Duration of sunshine in D city area for a year.

다. Fig. 2는 대상건물 D 시청사 인근에 있는 K 하천에 대해 5개의 지점에서 지난 10년간에 걸쳐 측정한 수온을 평균하여 월별로 나타낸 것이다. 7, 8월의 여름철에는 수온이 최고 28℃를 넘는 경우가 있으나 보통 26℃ 전후이며 1, 2월의 겨울철에는 최저 3℃ 이하로 내려가는 경우가 있지만 평균 5℃ 전후가 된다는 것을 알 수 있다. 또한 동일시기에 측정하였더라도 측정지점의 지역적 차이에 의해 2~4℃ 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 K 하천의 13개 지점에서 월별로 측정한 유량을 지난 3년간 평균값으로 나타낸 것이다. 하천의 하류일수록 유량이 많으며 상류에서는 유량이 작다. 그림에서 7월 및 8월은 장마와 태풍의 영향이 커지만 그 이외 기간에는 각 측정지점에서 유량변동이 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6은 대상건물이 있는 지역의 연중 온도, 습도 및 일조시간의 변동을 각각 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 하천수의 유량 및 수온은 수자원공사가, 기온 및 일사량에 대한 자료는 기상청이 공개한 자료를 활용한다.

3. LCC 분석조건과 분석결과

3.1. 대안의 선정과 에너지소비량 산정

LCC 분석대상으로 하는 건물의 소비에너지에 대응할 열원기기를 Table 2와 같이 통상적인 기준에 대해 4가지 미활용에너지 이용시스템의 활용을 대안으로 제시하였다. 기존의 통상적 방법은 증기보일러와 냉온수기에 의한 난방열 공급과 냉온수기 및 터보냉동기에 의한 냉방열을 공급하는 시스템으로 심야전력에 의한 빙축열시스템도 가동한다.

한편 진공온수보일러는 급탕용 온수공급(0.65 Gcal/hr) 및 일부 난방열(0.15 Gcal/hr)을 공급한다. 대안 1은 열펌프에 의한 난방열을 공급한다. 진공온수보일러는 통상적 방법과 동일하게 운전한다. 냉방열은 열펌프 및 흡수식 냉동기에 의해 공급된다. 한편 심야전력에 의한 빙축열시스템도 가동된다. 대안 2는 대안 1과 동일한 열설비에 온수저장탱크와 빙축열시스템을 도입하여 대부분의 열부하를 심야전력을 이용하는 시스템이다. 대안 3은 난방열을 3 Gcal/hr 용량의 열펌프와 흡수식 냉온수기로 공급하고, 냉방열은 역시 열펌프와 냉온수기로 공급한다. 진공온수보일러는 대

Table 2 Alternatives of heat supply system

	Heat supply system
Base	• Steam boiler (1.5 ton×2 ea, 1.0 ton×1 ea) • Hot & cold water unit (700 RT×2 ea, Heating: 2418.2 Mcal/hr) • Turbo refrigerator (360 RT, night 260 RT) • Ice thermal storage (1080 ton hr, 540 ton hr) • Vacuum hot water boiler (800,000 kcal/hr) • Cooling tower (700 RT×2 ea, 400 RT×1 ea)
Plan 1	• Heat pump (5 Gcal/hr×1 ea) • Absorptive refrigerator (300 RT×1 ea) • Ice thermal storage (3000 RT×1 ea) • Vacuum hot water boiler (800,000 kcal/hr) • Cooling tower (300 RT×1 ea)
Plan 2	• Heat pump (5 Gcal/hr×1 ea) • Absorptive refrigerator (300 RT×1 ea) • Hot water thermal storage (2600 ton×1 ea) • Ice thermal storage (11000 RT×1 ea) • Vacuum hot water boiler (800,000 kcal/hr) • Cooling tower (300 RT×1 ea)
Plan 3	• Heat pump (3 Gcal/hr×1 ea) • Hot & cold water unit (700 RT×1 ea, Heating: 2418.2 Mcal/hr) • Ice thermal storage (3000 RT×1 ea) • Vacuum hot water boiler (800,000 kcal/hr) • Cooling tower (700 RT×1 ea)
Plan 4	• Heat pump (3 Gcal/hr×1 ea) • Hot & cold water unit (700 RT×1 ea, Heating: 2418.2 Mcal/hr) • Hot water thermal storage (2600 ton×1 ea) • Ice thermal storage (11000 RT×1 ea) • Vacuum hot water boiler (800,000 kcal/hr) • Cooling tower (700 RT×1 ea)
Expected life	• Heat pump: 20 year • Steam boiler: 10 year • Vacuum hot water boiler: 10 years • Absorptive refrigerator: 20 years • Hot & cold water unit: 20 years • Hot water thermal storage: 20 years • Ice thermal storage: 20 years • Cooling tower: 20 years

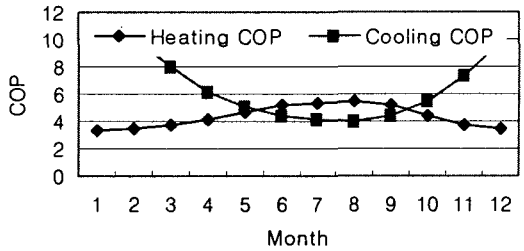

Fig. 7 Heat pump COP variations owing to change of river water temperature.

안 1과 동일한 방법으로 운전한다. 대안 4는 대안 3의 열설비에 온수저장탱크 및 빙축열시스템을 도입하여 열부하의 대부분을 심야전력에 의해 공급하는 시스템이다.

Fig. 7은 하천수의 월평균 온도에 따른 열펌프의 COP를 나타낸 것이다.[8] 한편 전력소비량과 가스소비량은 기본적으로 Fig. 4~6을 이용하여 계산된 건물의 냉난방 열부하에 따라 산출된다. Table 2에서 기존 시스템(Base)의 전기 및 가스소비량은 2002년 및 2003년의 2년간 이 건물의 실제 소비량의 평균값이며, 대안인 Plan 1~4의 전력 및 가스소비량은 각 대안별 설비를 건물 냉난방 열부하에 맞게 운전하였을 때의 소비량을 나타낸 것이다. 열펌프의 월별 냉난방 전력소비량은 주간 및 심야전력으로 나누어 다음 식(1)로 계산한다.

$$E_O = \sum_{n=1}^{m} \frac{Q_{O,n}}{COP_{O,n}} \tag{1}$$

여기서 E는 월별 전력소비량, Q는 건물의 냉난방 열부하, 첨자 O는 난방 혹은 냉방을 나타낸

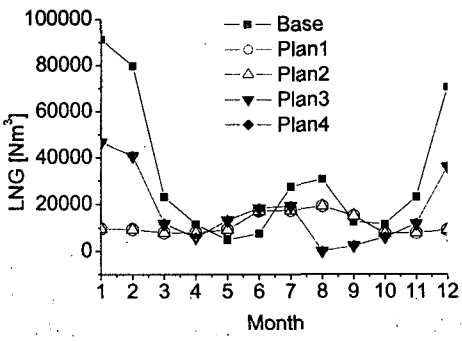

Fig. 8 LNG demand of the building.

Table 3 Electricity demand of the building (M: Month, D: day, N: night, Unit: kWh)

M	D/N	Base	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
1	D	74,678	359,753	9,667	214,620	35,859
	N	3,922	2,353	326,286	2,370	181,130
2	D	68,111	307,881	31,601	183,744	31,606
	N	3,922	2,353	278,633	2,370	154,508
3	D	35,154	83,201	10,877	49,900	10,853
	N	3,972	2,403	74,727	2,384	41,431
4	D	31,462	37,597	6,759	22,746	6,763
	N	4,175	2,505	33,342	2,510	18,492
5	D	29,379	14,092	4,756	8,160	4,660
	N	5,012	3,004	12,339	2,998	6,497
6	D	84,472	36,244	10,397	52,234	10,450
	N	17,319	10,397	36,244	10,450	52,234
7	D	88,574	90,555	68,165	92,819	63,897
	N	101,318	74,483	90,555	63,897	92,819
8	D	88,931	91,513	74,361	98,605	67,686
	N	103,539	81,300	91,513	67,686	98,605
9	D	84,218	12,531	47,995	7,476	34,888
	N	17,193	51,691	10,815	33,226	5,813
10	D	30,761	35,644	6,645	21,663	6,637
	N	4,563	2,391	31,389	2,384	17,409
11	D	35,292	80,959	10,827	48,657	10,839
	N	3,922	2,353	72,485	2,370	40,188
12	D	62,572	270,404	28,204	161,402	28,202
	N	3,922	2,353	244,553	2,370	135,569

것이고, m은 냉방 혹은 난방 일수를 나타낸 것이다. 한편 가스(LNG 저발열량 39,985 kJ/Nm^3) 소비량은 보일러(η=0.9) 및 흡수식 냉온수기(COP=0.95) 가동시 소비되는 가스량이다. 이와 같이 계산된 대상건물의 각 대안시스템(Plan 1~4)별 월별 가스소비량(냉난방 및 급탕용)과 월별 심야 및 주간전력 사용량을 기존 시스템에서의 실제 소비량(Base)과 함께 각각 Fig. 8과 Table 3에 나타내었다.

3.2 LCC 분석조건

LCC 분석을 위해 분석일자를 2004년 1월로 하고 분석대상기간은 설비의 수명기간은 2005년 1월부터 20년으로 잡았다. 그리고 초기투자비의 산출은 분석시점에서 현재가격으로 하는 것을 원칙으로 하였으며 항목별 비용을 Table 4에 제시하였다. 이것은 가능한 정확을 기하려고 하였으나 제안 회사마다 다른 값을 제시한다는 것을 유념하였으면 한다. 초기투자비는 이 건물의 실제 공사비를 기본으로 하였다. 대안시스템 1, 2, 3, 4의 초기투자비는 실제 공사비에서 변동된 열원기기의 가격을 고려하고 여기에 건물에서 하천까지의 배관 시설비를 추가하였다. 열펌프는 그 가격이 형성되어 있지 않아 동급 스크루냉동기 가격을 고려하여 열펌프 가격을 정하였으며 배관 시설비는 건물이 하천으로부터 300 m 이내에 있다고 보고 L사의 가견적가를 참고하여 정하였다.[7]

한편 정기적인 운영비용에 포함되는 것으로는 인건비, 수리비, 점검비, 일반관리비 등으로 관리방법에 따라 커다란 차이가 날 것으로 사료되지만 그 데이터가 충분하지 않다. 따라서 수리유지

Table 4 Initial investment cost (Unit: 1000 won)

Cost	Base	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Planning	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Construction	5,723,919	6,957,321	8,519,121	6,649,103	8,200,053
Total	5,923,919	7,157,321	8,719,121	6,849,103	8,400,053
Investment period			2004. 1.~12.		
Construction period			2004. 1.~2005. 1.		

Table 5 Operation, maintenance, repair cost (Unit: 1000 won)

	Base	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Wages	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
OM & R	114,674	201,012	310,338	179,437	288,004
Total	414,674	501,012	610,338	479,437	588,004

Table 6 Energy cost

Electricity	Day	Demand charge	Contract power (52,500 kW) × 5,520 (won/kW)
		Charge	Summer (7, 8): power used (kWh) × 91.9 (won/kWh) Spring & fall (4, 5, 6, 9): power used (kWh) × 61.1 (won/kWh) Winter (10, 11, 12, 1, 2, 3): power used (kWh) × 65.1 (won/kWh)
	Night	Demand charge	5,940 (won) × [day power used / total power used] (kWh)
		Charge	Winter: power used (kWh) × 29.80 (won/kWh) Summer: power used (kWh) × 26.90 (won/kWh)
LNG	For cooling For heating		Amount used (m^3) × 295.9 (won/m^3) Amount used (m^3) × 575.7 (won/m^3)

비는 초기투자비에서 건설비용의 7%로 잡았다. Table 5에 각 시스템의 운영비용을 나타내었다.

또한 에너지비용은 전기의 경우에는 용도, 계약전력, 계절, 사용시간대, 총 사용량 등에 따라 달라지지만 본 연구에서는 한국전력의 일반용 갑 고압A 선택(1)을 택하였다. LNG의 경우는 지역과 용도에 따라 차이가 있지만 D시의 2003년 9월 현재 LNG 가격으로 Table 6과 같은 값으로 하였다. 상수도비와 하수도비는 여기서 제외하였다. 또 시설의 잔존가치는 Table 2의 기대수명으로 초기투자비가 균등 분할하여 소멸되며 수명이 다하면 잔존가치가 0이 된다고 가정하였다.

즉 20년의 수명을 가진 설비는 10년 후에는 10년의 잔존가치가 존재한다고 판단한다. 운전기간 내에는 돌발적인 고장이 없는 것으로 보고 사용수명이 다하면 전량 교체하는 것으로 생각하여 비정기적인 부대비용은 없는 것으로 가정한다. 그러나 장비의 교체시기는 기기수명에 따르지만 본 사례연구에서는 LCC 분석기간을 20년간으로 하였으므로 설비 교체비용을 고려하였다. 이상 주요비용은 분석시점의 현재가치를 기준으로 환산하여 사용한다.

한편 LCC 분석에 있어서 여러 가지 가격 변동요소에 대한 고려가 필요하다. 이에 대한 자료가 불충분하지만 최근의 데이터를 바탕으로 다음과 같은 조사된 자료를 활용하였다.

할인율(현재가치 환산율)은 Fig. 9에 표시한 지난 1996년 이후 최근까지 은행이자율의 변동을 고려하여 7%로 설정하였다.

Fig. 10에 농수산물과 연료의 가격상승률과 농수산물과 연료를 제외한 물가상승률, 그리고 전체의 소비자 물가상승률을 나타내었다. 물가변동률은 지난 25년 전부터 최근까지의 농수산물을 제외한 소비자 물가지수의 변화추이를 고려하여 3% 상승하는 것으로 가정하였다.

또한 최근 몇 년간의 전력요금 및 LNG 가격의 상승률을 Fig. 11 및 Fig. 12에 도시하였다. 전기요금은 최근 3년간에 걸쳐 평균 0% 이하의 상승률을 보이고 있다.

LNG 가격상승률은 지난 4년간의 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 최근 들어 소비가 늘어나면서 난방용의 경우 연평균 3%, 냉방용은 연평균

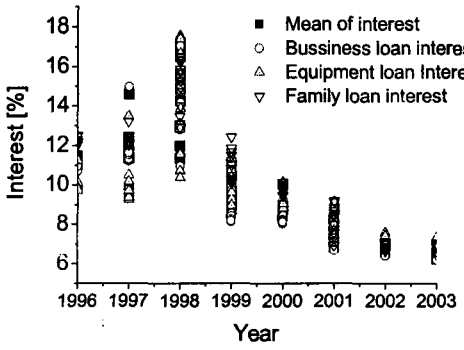

Fig. 9 Interest rates on bank loan.

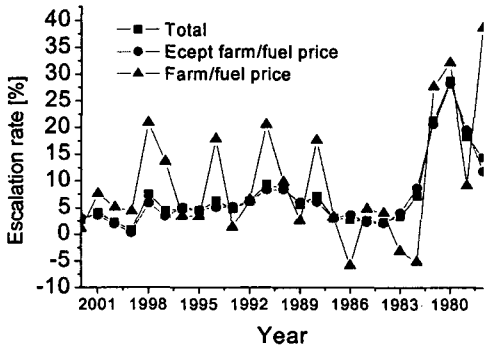

Fig. 10 Consumer price escalation rate.

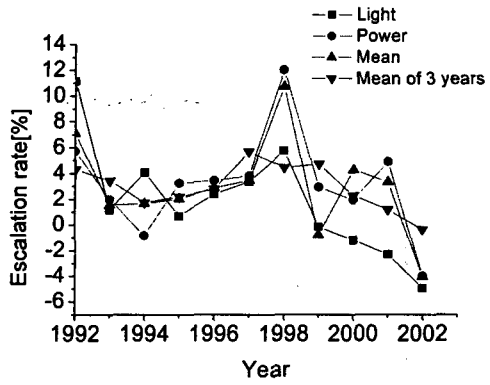

Fig. 11 Electricity price escalation rate.

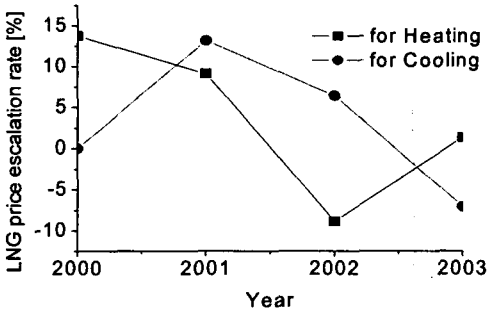

Fig. 12 LNG price escalation rate.

2% 내외의 상승률을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 전력 및 LNG 공히 가격상승률을 연 3%로 가정하였다.

3.3 LCC 분석결과

제안된 각 대안별 열설비에 대한 LCC 분석을 수행하였다. Fig. 13 및 Fig. 14는 10년 및 20년에 있어서 하천수 미활용시스템의 LCC 분석결과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 각 안 공히 투자비용에 비해 운영 유지관리비와 에너지비용의 LCC가 많은 것을 알 수 있다. 10년에 있어서 각 대안별 LCC를 보면 제 2 안의 LCC가 최소값을 보이지만 20년에 있어서는 제 1 대안이 최소 LCC를 나타내었다. 한편 Fig. 13에서 초기투자비는 10년이 경과한 후의 잔존가치를 현재가격으로 나타낸 것이며, Fig. 14에서 초기투자비가 없는 것은 20년 수명을 다하여 잔존가치가 0이기 때문이다. 운영비에는 유지보수 비용과 함께 운전 중의 열교환기 청소비용 등이 포함되어

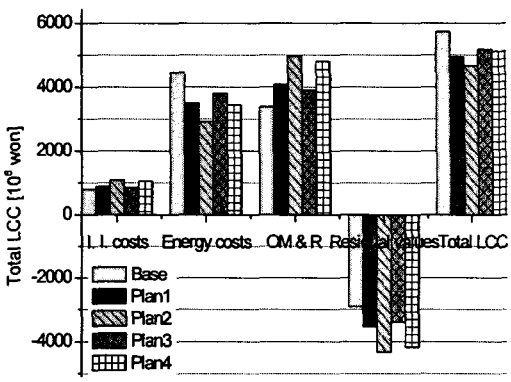

Fig. 13 Total LCC in 10 years of the river water system.

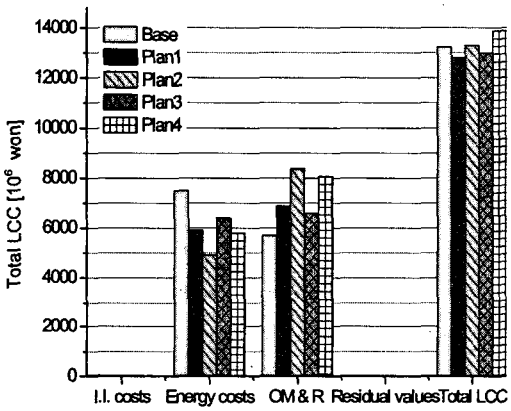

Fig. 14 Total LCC in 20 years of the river water system.

있다. 또한 냉방부하는 전기동력으로 구동되는 열펌프에 의해 공급되며 이에 따른 전기요금의 영향도 크다는 것을 알 수 있다.

통상적인 중기보일러 및 흡수식 냉온수기에 의한 공급방법과 비교하여 각 대안들은 초기투자비와 운영비에서 더 많이 들지만 에너지비용이 적게 들어 총 LCC는 큰 차이를 보이고 있지 않으므로 적절한 설계만 이루어진다면 경쟁력을 갖출 것으로 판단한다. 통상적인 열공급시스템의 투자비용보다 추가로 더 들어간 투자비용의 회수기간은 대안 1이 6년으로 가장 짧고, 대안 4가 9.7년으로 가장 긴 것으로 나타났다.

이와 같이 투자비 회수기간이 짧지 않은 경우 에너지절약 및 환경개선효과가 있다 하더라도 민간사업자에 의한 자발적 미활용에너지 이용시스

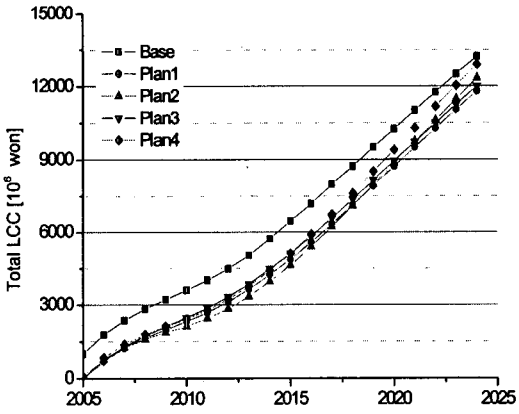

Fig. 15 The variation of total LCC.

템의 보급은 기대하기 어렵다. 미활용에너지의 보급을 위한 지원제도가 잘 정비된 일본의 통산산업성이 시행하는 지역 신에너지 도입촉진 대책비 보조금 혹은 신에너지사업자 지원사업 등의 제도를 우리나라가 도입한 경우를 상정하여 공사비 일부 지원에 대한 경제적 효과를 검토하였다.

Fig. 15은 하천수 미활용에너지의 보급 확대를 위해 정부가 하천수 관련 총 공사비의 20%(본 시스템의 경우 약 10억원)을 지원한다고 가정하였을 때 총 LCC의 연도별 변화를 나타낸 것이다. 이 경우 20년 동안 통상적인 열공급 시스템보다 모든 대안이 매년 총 LCC가 약 7~7.6% 정도 감소하며 투자비 회수기간도 1년 정도 줄일 수 있다. 이 LCC 곡선은 미래시점의 가치를 현재가격으로 환산한 것이므로 은행이자율 및 물가상승률 등의 영향을 받는다.

한편 LCC 분석결과에 대한 민감도 분석을 수행하였다. LCC 분석에 적용되는 각종 지표들은 대부분 추정값들로 그 정확도를 보증하기 어렵다. 입력자료가 잘못 예측되었을 때 분석결과에 영향을 미쳐 잘못된 판단을 내릴 수 있기 때문에 이의 보완을 위해 민감도 분석을 수행한다.

즉, 입력변수의 범위를 조절하면서 출력인 LCC의 변화를 주목하여 결과값에 미치는 영향의 정도를 분석하는 것이다. 분석결과를 Table 7에 나타내었다. 초기투자비와 에너지 가격의 10% 증감에 대한 LCC 민감도, 기준 할인율 7%를 10%로 증가시킨 경우와 5%로 낮춘 경우에 대한 민감도, 기준 물가상승률 3%를 5%로 증가시킨 경우와 2%로 낮춘 경우의 LCC 민감도, 그리고 수리유지비의 10% 증감에 대한 LCC의 민감도를 각각 분석하였다. Table 7에서 알 수 있는 바와 같이 할인율 7%→5%로 2% 낮아진 경우 총 LCC는 약 20% 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 물가상승률이 3%→5%로 2% 상승하는 경우 총 LCC는 약 21% 상승하여 그 영향이 큰 것을 알 수 있다. 이것은 20년이란 장기간에 걸친 이자율과 물가상승을 고려하기 때문이다. 따라서 할인율과 물가상승률의 경우 정확한 자료 대입이 필수적임을 알 수 있다.

본 연구에서의 대상 건물에 대해 하천수 미활용에너지를 이용한 몇 가지 도입 가능 시스템 대안을 도출하고 시스템의 경제성 평가라는 목적에 따라 대안별 총 LCC를 산출하여 이중 최소의 LCC를 갖는 대안을 최적 하천수 미활용에너지 이용시스템으로 선정한다.

Table 7 The sensitivity of total LCC

Classification	Change (%)	Total LCC escalation rate (%)				
		Base	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Initial investment costs	+10	4.32	5.38	6.30	5.07	5.82
	−10	−4.32	−5.38	−6.30	−5.07	−5.82
Energy costs	+10	5.40	4.61	3.71	4.92	2.70
	−10	−4.32	−5.38	−6.29	−5.07	−5.82
Discount rate	7 → 10	−21.82	−21.62	−21.62	−21.63	−21.62
	7 → 5	23.88	20.71	20.89	20.66	20.79
Price escalation rate	3 → 5	23.48	21.22	21.41	21.16	21.31
	3 → 2	−8.66	−8.51	−8.50	−8.50	−8.50
OR & M	+10	4.03	5.38	6.30	5.06	5.76
	−10	−4.57	−5.38	−6.29	−5.07	−5.82

4. 결 론

본 분석에서 빌딩의 냉난방용 냉온열을 공급하는 경우 보일러 및 흡수식 냉동기에 의한 통상의 열공급 방법과 함께 기온에 따라 변하는 하천수 온도를 고려한 하천수 미활용에너지 이용 열펌프 시스템을 상정하고 이 시스템에 대한 LCC 분석을 통해 시스템 경제성을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 투자비용 회수기간의 측면에서 대안 1은 투자비가 가장 적어 약 6년 정도에 통상적인 열공급 방식보다 추가로 투자된 비용을 회수할 수 있다.

(2) 에너지가격의 상승률, 할인율의 변동, 물가의 상승 등에 따라 크게 변할 것으로 생각되지만 현재 시점에서 대안 1의 경우가 20년간에 있어서 총 LCC가 최소인 시스템이라고 할 수 있다.

(3) 하천수 미활용에너지 이용시스템의 투자비 회수기간이 짧지 않음을 감안하여 민간사업자에 의한 미활용에너지 이용시스템의 자발적 보급 확대를 위해 공사비의 20%를 정부가 지원하는 경우 20년간에 걸쳐 통상적인 열공급방식에 비해 매년 총 LCC가 약 7.0~7.6% 정도 감소하며, 투자비 회수기간도 1년 정도 줄일 수 있다.

(4) 민감도 분석에서 할인율 및 물가상승률의 변동에 대한 총 LCC의 변화가 큰 것은 20년의 장기간에 걸친 이자율과 물가상승률을 고려하였기 때문으로 정확한 자료의 입력이 중요하다.

이상의 하천수 미활용에너지 이용시스템에 대한 LCC 분석결과로부터 대안 1이 20년간의 최저 LCC를 얻었으므로 대안 1을 최적시스템으로 선택하여 장기적으로 총 LCC를 줄이는 것이 바람직하다.

후 기

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 사업(이산화탄소 저감 및 처리기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Park, I. H., Park, J. T. and Yoo, S. Y., 2002, An investigation on waste heat of domestic industry and optimum heat recovery technology, MOCIE, KIER-A13328, pp. 236-306.
2. Park, I. H., Park, J. T. and Yoon, H. K., 2004, A investigation on the unutilized energy reserves of river water, Proceeding of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, Vol. 1, p. 232.
3. Lee, Y. S., Chang, K. C., Park, S. R., Yoon, H. K. and Lee, S. N., 2003, Development of high performance heat pump system using river water as a heat source od 21 century frontier R&D program, Proceeding of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, Vol. 1, p. 72.
4. Choe, S. H., Cha, B. J., Kim, S. M. and Leigh, S. B., 2002, A study on optimized design decision of building service systems based on a life-cycle cost analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 134-142.
5. Lam, J. C. and Chan, W. W., 2001, Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools, Energy Conversion & Management, 42, pp. 1299-1306.
6. Oh, M. K., Lee, B. J., Hong, H. K. and Kang, Y. T., 2004, Life cycle cost analysis of solution transfer absorption system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 506-513.
7. Yoon, H. K., Chang, K. C., Park, S. R., Park, J. T., Lee, Y. S., Lee, S. N., Baek, Y. J., Na, H. S. and Jung, M. H., 2005, The optimization of a demonstration network plant using unutilized energy resources, Frontier Program Report M102KP010001-03K1601-03310, Appendix 4.
8. Park, B. S., 1992, The energy saving effect, feature and energy reserves of the unused energy, Energy · Resource (Japanese), Vol. 13, No. 2, pp. 23-30.